This is a digital copy of a book that was preserved for generations on library shelves before it was carefully scanned by Google as part of a project to make the world's books discoverable online.

It has survived long enough for the copyright to expire and the book to enter the public domain. A public domain book is one that was never subject to copyright or whose legal copyright term has expired. Whether a book is in the public domain may vary country to country. Public domain books are our gateways to the past, representing a wealth of history, culture and knowledge that's often difficult to discover.

Marks, notations and other marginalia present in the original volume will appear in this file - a reminder of this book's long journey from the publisher to a library and finally to you.

Usage guidelines

Google is proud to partner with libraries to digitize public domain materials and make them widely accessible. Public domain books belong to the public and we are merely their custodians. Nevertheless, this work is expensive, so in order to keep providing this resource, we have taken steps to prevent abuse by commercial parties, including placing technical restrictions on automated querying.

We also ask that you:

+ *Make non-commercial use of the files* We designed Google Book Search for use by individuals, and we request that you use these files for personal, non-commercial purposes.

+ *Refrain from automated querying* Do not send automated queries of any sort to Google's system: If you are conducting research on machine translation, optical character recognition or other areas where access to a large amount of text is helpful, please contact us. We encourage the use of public domain materials for these purposes and may be able to help.

+ *Maintain attribution* The Google "watermark" you see on each file is essential for informing people about this project and helping them find additional materials through Google Book Search. Please do not remove it.

+ *Keep it legal* Whatever your use, remember that you are responsible for ensuring that what you are doing is legal. Do not assume that just because we believe a book is in the public domain for users in the United States, that the work is also in the public domain for users in other countries. Whether a book is still in copyright varies from country to country, and we can't offer guidance on whether any specific use of any specific book is allowed. Please do not assume that a book's appearance in Google Book Search means it can be used in any manner anywhere in the world. Copyright infringement liability can be quite severe.

About Google Book Search

Google's mission is to organize the world's information and to make it universally accessible and useful. Google Book Search helps readers discover the world's books while helping authors and publishers reach new audiences. You can search through the full text of this book on the web at `http://books.google.com/`

A propos de ce livre

Ceci est une copie numérique d'un ouvrage conservé depuis des générations dans les rayonnages d'une bibliothèque avant d'être numérisé avec précaution par Google dans le cadre d'un projet visant à permettre aux internautes de découvrir l'ensemble du patrimoine littéraire mondial en ligne.

Ce livre étant relativement ancien, il n'est plus protégé par la loi sur les droits d'auteur et appartient à présent au domaine public. L'expression "appartenir au domaine public" signifie que le livre en question n'a jamais été soumis aux droits d'auteur ou que ses droits légaux sont arrivés à expiration. Les conditions requises pour qu'un livre tombe dans le domaine public peuvent varier d'un pays à l'autre. Les livres libres de droit sont autant de liens avec le passé. Ils sont les témoins de la richesse de notre histoire, de notre patrimoine culturel et de la connaissance humaine et sont trop souvent difficilement accessibles au public.

Les notes de bas de page et autres annotations en marge du texte présentes dans le volume original sont reprises dans ce fichier, comme un souvenir du long chemin parcouru par l'ouvrage depuis la maison d'édition en passant par la bibliothèque pour finalement se retrouver entre vos mains.

Consignes d'utilisation

Google est fier de travailler en partenariat avec des bibliothèques à la numérisation des ouvrages appartenant au domaine public et de les rendre ainsi accessibles à tous. Ces livres sont en effet la propriété de tous et de toutes et nous sommes tout simplement les gardiens de ce patrimoine. Il s'agit toutefois d'un projet coûteux. Par conséquent et en vue de poursuivre la diffusion de ces ressources inépuisables, nous avons pris les dispositions nécessaires afin de prévenir les éventuels abus auxquels pourraient se livrer des sites marchands tiers, notamment en instaurant des contraintes techniques relatives aux requêtes automatisées.

Nous vous demandons également de:

+ *Ne pas utiliser les fichiers à des fins commerciales* Nous avons conçu le programme Google Recherche de Livres à l'usage des particuliers. Nous vous demandons donc d'utiliser uniquement ces fichiers à des fins personnelles. Ils ne sauraient en effet être employés dans un quelconque but commercial.

+ *Ne pas procéder à des requêtes automatisées* N'envoyez aucune requête automatisée quelle qu'elle soit au système Google. Si vous effectuez des recherches concernant les logiciels de traduction, la reconnaissance optique de caractères ou tout autre domaine nécessitant de disposer d'importantes quantités de texte, n'hésitez pas à nous contacter. Nous encourageons pour la réalisation de ce type de travaux l'utilisation des ouvrages et documents appartenant au domaine public et serions heureux de vous être utile.

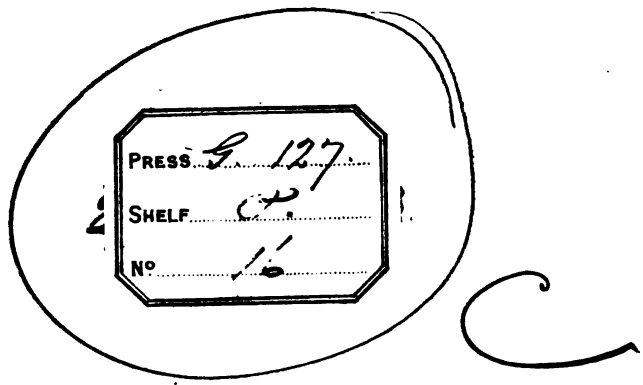
+ *Ne pas supprimer l'attribution* Le filigrane Google contenu dans chaque fichier est indispensable pour informer les internautes de notre projet et leur permettre d'accéder à davantage de documents par l'intermédiaire du Programme Google Recherche de Livres. Ne le supprimez en aucun cas.

+ *Rester dans la légalité* Quelle que soit l'utilisation que vous comptez faire des fichiers, n'oubliez pas qu'il est de votre responsabilité de veiller à respecter la loi. Si un ouvrage appartient au domaine public américain, n'en déduisez pas pour autant qu'il en va de même dans les autres pays. La durée légale des droits d'auteur d'un livre varie d'un pays à l'autre. Nous ne sommes donc pas en mesure de répertorier les ouvrages dont l'utilisation est autorisée et ceux dont elle ne l'est pas. Ne croyez pas que le simple fait d'afficher un livre sur Google Recherche de Livres signifie que celui-ci peut être utilisé de quelque façon que ce soit dans le monde entier. La condamnation à laquelle vous vous exposeriez en cas de violation des droits d'auteur peut être sévère.

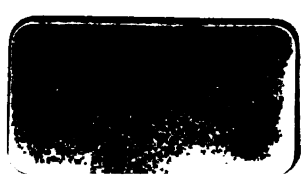
À propos du service Google Recherche de Livres

En favorisant la recherche et l'accès à un nombre croissant de livres disponibles dans de nombreuses langues, dont le français, Google souhaite contribuer à promouvoir la diversité culturelle grâce à Google Recherche de Livres. En effet, le Programme Google Recherche de Livres permet aux internautes de découvrir le patrimoine littéraire mondial, tout en aidant les auteurs et les éditeurs à élargir leur public. Vous pouvez effectuer des recherches en ligne dans le texte intégral de cet ouvrage à l'adresse `http://books.google.com`

6000268437



1662 d. 84



MÉMOIRES

DE PHYSIOLOGIE

PARIS. — IMPRIMERIE DE E. MARTINET, RUE MIGNON, 2.

MÉMOIRES

DE

PHYSIOLOGIE

VESSIE NATATOIRE — TORPILLE ÉLECTRIQUE
INTESTIN — NERFS VASCULAIRES

PAR

FRANÇOIS-ARMAND MOREAU

CHEF DES TRAVAUX PHYSIOLOGIQUES AU LABORATOIRE DE PHYSIOLOGIE GÉNÉRALE AU MUSÉUM
MEMBRE DE L'ACADÉMIE DE MÉDECINE

Avec 6 planches et figures dans le texte

PARIS

G. MASSON, ÉDITEUR

LIBRAIRE DE L'ACADÉMIE DE MÉDECINE

Boulevard Saint-Germain, en face de l'École de médecine

1877

A MON MAITRE

M. CLAUDE BERNARD

Hommage de respectueux dévouement.

PRÉFACE

Les mémoires réunis dans ce volume ont rapport à des sujets très-divers, à des fonctions très-dissemblables; mais celui qui pénètre dans l'analyse des problèmes physiologiques voit apparaître derrière la diversité qui le frappait d'abord des conditions semblables, soit dans les mécanismes fonctionnels, soit dans les propriétés des éléments, derniers termes de l'analyse physiologique.

Il est en effet un terrain commun, celui de la physiologie générale, où conduisent les études approfondies des innombrables questions que soulèvent les êtres animés.

Les considérations générales qui forment comme la seconde partie de ce volume indiquent, en s'appuyant sur des faits établis expérimentalement dans la première partie, les liens naturels qui unissent ces différents mémoires.

Ces considérations mériteraient sans doute d'être plus développées et d'être fortifiées par des exemples nombreux empruntés aux travaux modernes; j'aurais dû mettre surtout à profit les découvertes et les enseignements du maître auquel je dédie ce livre. Si je ne l'ai pas fait, c'est que j'ai voulu laisser à cette œuvre le caractère personnel qui convient à un recueil de mémoires.

Les expériences sur les Poissons de mer ont été faites dans la Méditerranée à Naples et à Palavas, près Montpellier, dans l'Océan à Arcachon, et le plus souvent à l'aquarium de Concarneau ; les expériences sur les autres animaux, au laboratoire de médecine du Collége de France et au laboratoire de physiologie générale du Muséum. Je prie M. Claude Bernard, chef de ces deux laboratoires, d'agréer l'hommage public de ma reconnaissance et de mon affection.

F.-A. MOREAU.

15 octobre 1877.

RECHERCHES PHYSIOLOGIQUES

SUR

LA VESSIE NATATOIRE

ROLE HYDROSTATIQUE DE CET ORGANE

AVANT-PROPOS

Dans ce travail je suis parvenu à définir la fonction hydrostatique de la vessie natatoire des Poissons. J'ai dû contrôler par des expériences les idées admises; elles ont été modifiées par ces examens, et je suis arrivé à dire, je crois, d'une manière assez précise, le sens qu'il faut donner à l'expression « appareil hydrostatique » appliquée à la vessie natatoire.

On a pensé de tout temps qu'un organe aux parois souples, rempli d'un fluide gazeux, et par là d'un volume éminemment variable, soumis en outre à des pressions qui changent à chaque instant, ne pouvait entrer dans un plan harmonique, tel que le plan que tout organisme bien compris nous manifeste, sans un rôle profitable au Poisson. Mais quel est ce rôle?

Il résulte des expériences contenues dans ce travail que le rôle de la vessie natatoire est de rendre la densité du Poisson égale à celle de l'eau, en corrigeant incessamment les changements de densité que les pressions nouvelles font subir au Poisson, par une augmentation ou une diminution de l'air intérieur proportionnelle à ces pressions.

Le rôle admis par les auteurs consiste à supposer des efforts musculaires produisant des changements de densité favorables à la locomotion ou à la station.

Mais l'expérience II (p. 20, fig. 4) que l'on verra décrite et figurée nous oblige de reconnaître que le rôle de la vessie

natatoire admis pour la locomotion est imaginaire, et l'expérience VI (p. 35, fig. 13) nous montre que la densité du Poisson modifiée par la pression nouvelle revient à son état normal, non par des efforts musculaires, mais par un changement convenable dans la quantité de l'air intérieur.

Le rôle de la vessie natatoire est donc de donner au Poisson la densité de l'eau à toutes les pressions et sans efforts musculaires, avantage que les Poissons sans vessie natatoire, toujours plus denses que l'eau, ne possèdent jamais.

Ce rôle hydrostatique est le plus général que l'on puisse assigner à cet organe dans l'état actuel de la science.

J'ai trouvé chez un Poisson, le *Caranx trachurus*, une structure qui accuse de la manière la plus nette ce caractère fonctionnel, en faisant de la vessie natatoire un appareil hydrostatique perfectionné.

Mettant de côté le problème hydrostatique et considérant l'air contenu dans la vessie natatoire, air formé presque tout entier d'oxygène et d'azote, je montre que l'on peut faire varier dans toutes les proportions l'un ou l'autre de ces gaz. Je montre aussi l'influence du système nerveux relativement à l'arrivée de l'oxygène dans la vessie natatoire. Enfin je donne quelques expériences sur des phénomènes de respiration et de phonation qui ont pour siége la vessie natatoire.

CHAPITRE PREMIER.

NOTIONS ANATOMIQUES. — CANAL AÉRIEN. — CANAL DE SURETÉ. LEUR VALEUR FONCTIONNELLE.

La vessie natatoire est un organe rempli d'air, dont les parois, en général souples et extensibles, permettent le resserrement et l'ampliation. Elle manque chez les Squales, les Raies, les Torpilles, et d'autres Poissons dont je n'aurai à parler que pour rendre le rôle de l'organe plus manifeste par des expériences comparatives. .

Les autres Poissons possèdent la vessie natatoire, qui, chez

les uns, comme les Carpes, communique par un canal dit aérien avec la cavité du tube digestif et l'extérieur, et qui est tout à fait close chez les autres, comme les Perches.

Cet organe possède des vaisseaux sanguins nombreux offrant parfois des dispositions qui leur ont valu, des anciens anatomistes, le nom de « réseaux admirables ». Les nerfs proviennent de sources différentes et président à des fonctions variées. Le tissu fibreux et le tissu musculaire, très-abondants chez certaines espèces, manquent presque tout à fait chez d'autres. Aucun organe n'offre peut-être autant de variétés. Leur étude nous reporte aux traités spéciaux et sort du plan d'un travail expérimental (1).

La vessie natatoire communique avec le canal intestinal par un conduit appelé pneumatique ou aérien, chez un certain nombre d'espèces, par exemple dans les familles des Cyprinoïdes, Ésoces, Salmones, Sturioniens, etc. Ce canal permet au Poisson, soumis à une diminution de pression, de dégager par la bouche l'air qui, dans certaines circonstances, tend à distendre d'une manière exagérée sa vessie natatoire, à augmenter son volume, à diminuer sa densité, à comprimer ses tissus et à lui causer une gêne croissante et même un péril grave. Le canal aérien permet de conjurer ces dangers en donnant issue à l'air dilaté et en ne laissant dans l'organe que la quantité nécessaire pour l'équilibre à la pression nouvelle où se trouve le Poisson.

L'expérience suivante permet de voir comment un Poisson soumis à une diminution de pression se comporte, suivant qu'il possède ou non un canal aérien.

Une Tanche, ou tout autre Poisson possédant un canal aérien, placée dans un bocal plein d'eau sous la cloche d'une machine pneumatique, se comporte comme il suit :

A mesure que le vide se produit, le Poisson expulse par les

(1) V. Stannius, *Handbuch der Anatomie der Wirbelthiere.* Berlin, 1854, p. 220. — Milne Edwards, *Leçons sur la physiologie et l'anatomie comparée de l'Homme et des Animaux*, t. II, p. 364. — Richard Owen, *On the Anatomy of Vertebrates.* London, 1866, vol. I, p. 491.

ouïes ou la bouche des bulles d'air, et continue à nager librement sans être emporté vers la surface de l'eau avec une force croissante. On comprend que chaque fois qu'il expulse une bulle d'air, il diminue la quantité d'air qui, sous la pression nouvelle où il était placé, augmentait son volume; il reprend donc chaque fois son volume normal et sa densité primitive. Quand on vient à rétablir la pression atmosphérique normale, on voit la Tanche qui, jusque-là nageait librement, tomber au fond de l'eau en raison de l'augmentation de sa densité. En effet, l'air expulsé était nécessaire pour lui donner, sous la pression ordinaire, son volume normal et une densité moyenne égale à celle de l'eau ou très-voisine de celle de l'eau. Or, cet air est en partie expulsé et le volume total réduit. Le Poisson tombe littéralement au fond du bocal, et, transporté dans un bassin convenable, il ne reprendra sa densité première et la liberté de ses mouvements qu'après la reformation d'une quantité de gaz égale à la quantité perdue. On peut pousser l'opération assez loin pour que le vide produit par la sortie de l'air amène, lorsque la pression normale sera rétablie, un refoulement des téguments vers l'intérieur, refoulement qui s'accuse par une véritable gouttière le long de la ligne médiane du corps sur la face ventrale (voy. p. 70).

Voyons, dans les mêmes conditions, un Poisson privé du canal aérien.

Une Perche, poisson à vessie close, mise pareillement sous la machine pneumatique, s'agite à mesure que la diminution de pression extérieure se produit. Bientôt elle est emportée vers la surface et y est maintenue d'une façon irrésistible par la poussée croissante qu'elle subit de bas en haut à mesure que son volume augmente.

Le Poisson à vessie close perd donc la liberté de ses mouvements dans les conditions où le Poisson qui possède un canal aérien la conserve.

Le contraste qui existe entre ces deux Poissons se continue quand on fait rentrer l'air extérieur. A mesure que l'air rentre sous la cloche et que la pression normale se rétablit, la Perche,

qui était invinciblement retenue vers la surface, reprend ses mouvements et sa liberté. On le conçoit ; elle n'a point perdu d'air, et sous la pression normale elle retrouve et son volume et sa densité ordinaires.

On peut, pour mieux juger l'influence de la diminution de pression sur les Poissons à vessie close, prendre des Épinoches ; leur petite taille leur permet de se mouvoir plus facilement dans les vases à expérience. Or, à mesure que le vide se produit au-dessus du vase plein d'eau où nage l'Épinoche, celui-ci s'enfonce au plus profond ; et comme il subit une poussée verticale qui va toujours croissant en raison de l'augmentation de volume qu'il subit, on le voit prendre une direction de plus en plus oblique, c'est-à-dire que nageant d'abord presque horizontalement, il finit par placer son grand axe tout à fait vertical pour agir le plus puissamment contre cette poussée. Il tend vers la profondeur avec l'intention évidente de compenser la pression atmosphérique, qui va toujours en diminuant tant que le vide se pratique, par une pression équivalente d'une colonne d'eau qu'il fait grandir au-dessus de lui ; mais ses forces le trahissent, on le voit céder ; le moindre repos qu'il veut prendre le fait remonter vers la surface, et bientôt il y reste immobile, distendu, incapable de redescendre, jusqu'à ce que la rentrée de l'air dans l'appareil lui rende son volume, sa densité et la liberté de ses mouvements.

DU CANAL DE SÛRETÉ.

Je désigne sous le nom de *canal de sûreté* un canal particulier que j'ai rencontré sur un Poisson nommé Sinchard en Bretagne, *Caranx trachurus*, ou Saurel (Cuvier) (V. fig. 12). La première description de ce canal est celle que j'ai lue à l'Académie des sciences (*Comptes rendus* du 17 mai 1875), dans le mémoire intitulé : *Sur la vessie natatoire du* Caranx trachurus *et sur la fonction hydrostatique de cet organe*. Il convient de dire comment j'ai été conduit à soupçonner l'existence de ce canal et à le trouver.

J'avais placé des Poissons de mer de différentes espèces, très-petits, dans un bocal dont j'aspirais l'air extérieur avec une pompe. Je les observais en pensant que ces Poissons se comporteraient comme ils le font d'ordinaire, c'est-à-dire que les uns, privés de vessie natatoire, ne paraissent pas affectés d'une manière bien visible; les autres, au contraire, qui ont la vessie munie d'un canal aérien, ne tardent pas à laisser échapper des bulles d'air par la bouche et les ouïes; ceux qui ont la vessie close luttent, cherchent à descendre pour trouver une pression qui leur fait défaut de plus en plus, mais ils finissent par être vaincus et emportés à la surface, où ils flottent à peu près immobiles et toujours gonflés. J'avais constaté ces phénomènes bien des fois. Il arriva un jour que parmi mes Poissons se trouvaient des *Caranx trachurus* (vulgairement Sinchards).

Je remarquai avec étonnement que ces Poissons, qui sont décrits comme possédant une vessie natatoire et comme privés de canal aérien, n'étaient pas emportés vers la surface, comme le sont les Bars et autres Poissons à vessie close, mais conservaient la liberté de leurs évolutions; je ne tardai pas à constater, malgré leur taille très-petite, qu'ils perdaient des bulles d'air extrêmement fines à mesure que la pression extérieure diminuait.

Dès lors je pensai qu'ils avaient un canal aérien qui avait échappé aux recherches, ou que la vessie natatoire se déchirait près des ouïes.

Je pris donc un de ces petits Poissons, et par une incision faite à la paroi abdominale je saisis les vaisseaux, les nerfs, etc., en un mot, l'ensemble des organes qui constituent le hile de la vessie natatoire : c'est, en effet, d'ordinaire dans le hile que se trouve le canal aérien. Je serrai dans un fil tout le hile, pour être bien assuré que l'air de la vessie natatoire ne sortirait plus, et pour transformer ce Poisson, auquel je supposais un canal aérien, en un Poisson à vessie close.

Replacé dans le bocal où se faisait le vide, ce Poisson devait s'élever à la surface, à la manière de ceux qui ont la vessie close. Or, il se remit à nager avec une grande facilité, et à mesure

que je faisais le vide, il continuait à perdre des bulles d'air très-fines que je voyais sortir, non par la bouche, mais par les ouïes, et j'ajoute, toujours du côté droit.

Dès lors un examen anatomique s'imposait avec des données nouvelles. Le point précis de sortie des bulles d'air était le point important à voir. Cette recherche assez délicate est rendue plus facile en prenant un individu de grande taille que l'on maintient sous l'eau après lui avoir enlevé l'opercule du côté droit. Il n'est pas nécessaire que le Poisson soit vivant. Si ensuite on diminue la pression atmosphérique, on voit les bulles sortir par un point bien précis qui est représenté dans la figure 2. Il est situé à la rencontre d'une droite parallèle à l'axe du corps, passant par le centre de la pupille, et d'un plan perpendiculaire à cet axe et passant par l'angle supérieur que l'opercule fait avec la peau du dos. Il est donc situé sous l'opercule dans la partie postérieure et supérieure de la cavité branchiale, et toujours du côté droit, au moins sur tous les nombreux individus que j'ai examinés.

Si l'on pénètre dans la cavité abdominale du *Caranx trachurus* et que l'on incise sur la ligne médiane avec précaution la paroi inférieure de la vessie natatoire, on voit l'intérieur de cet organe, et au niveau de la septième côte un bourrelet en forme de croissant, dont le bord libre et concave regarde en arrière, est légèrement épaissi et constitué par un tissu cellulo-fibreux. Cette sorte de valvule forme l'entrée d'un canal aux parois délicates qui longe le côté droit de l'aorte jusqu'au niveau de la partie antérieure de la vessie natatoire ; là il forme un coude et s'ouvre à l'extérieur dans une fente que présente la muqueuse de la cavité branchiale au point dont nous avons donné la position précise. On peut engager un fil dans ce canal et assez facilement le faire sortir par l'autre extrémité (fig. 1).

Le phénomène de la sortie de l'air par l'orifice extérieur, quand on vient à diminuer la pression atmosphérique, rend toujours facile cette recherche.

La position de l'ouverture vésicale de ce canal au niveau de la septième côte et sur la paroi dorsale, c'est-à-dire la paroi qui est accolée à la colonne vertébrale, et la forme caractéristique

d'un petit bourrelet situé sur la ligne médiane en forme de croissant et recouvrant cet orifice, assurent également le succès de cette recherche.

La mise en jeu de cet appareil est beaucoup plus facile que celle du canal aérien, une faible diminution de pression produisant, même sur le Poisson mort, la sortie de l'air en excès.

Avant de comparer le canal de sûreté et le canal aérien, je dois rappeler que la vessie natatoire a été considérée comme l'analogue du poumon. On sait que l'assimilation de la vessie natatoire et du poumon est repoussée pour d'excellentes raisons que J. Müller a données, et auxquelles je dois ajouter la remarque suivante qui résulte de ce travail (voy. chap. VII, *Fonction de respiration*).

On peut, sur les Poissons qui ont des corps rouges, tels que les Perches, obtenir par une asphyxie lente l'utilisation, ou, si l'on veut, la consommation totale de l'oxygène contenu dans l'organe, qui devient, dans ces conditions, un organe analogue au poumon, en tant que servant à l'hématose, mais d'une manière tout à fait accidentelle. Il ne faut pas oublier, en effet, que cet oxygène a été fourni par le Poisson lui-même, et n'est pas, comme celui que contient le poumon, pris directement au milieu ambiant.

Eh bien, ce bénéfice dont jouit le Poisson qui a des corps rouges n'existe pas pour le Poisson qui, avec un canal aérien, comme les *Cyprins*, n'a point de corps rouges. Je les ai soumis un grand nombre de fois à une asphyxie lente, et j'ai rencontré, dans la vessie natatoire prise après la mort, une proportion d'oxygène assez voisine de la proportion normale, pour pouvoir dire que cet organe n'est point chez eux utilisé, même dans ces circonstances exceptionnelles pour l'hématose, comme cela a lieu chez les Perches. En d'autres termes, ces expériences montrent que les Poissons comme les Tanches, qui possèdent un canal aérien, c'est-à-dire l'organe essentiel pour faire pénétrer l'air extérieur, organe correspondant à la trachée-artère, sont moins bien doués que les Poissons à vessie close, au point de vue de l'absorption de l'oxygène.

J'ajoute donc cet argument à ceux que Müller a donnés pour distinguer le poumon et la vessie natatoire.

Et maintenant comparons au point de vue de la fonction hydrostatique ces deux types de Poissons; et pour cela soumettons une Tanche (*Cyprinus Tinca*), poisson qui possède un canal aérien, et d'autre part un Sinchard (*Caranx trachurus*), qui possède le canal de sûreté, à une dépression à l'aide d'une pompe qui fait le vide au-dessus du bocal qui les contient (l'un de ces Poissons étant d'eau douce et l'autre d'eau salée, il convient de les mettre dans deux vases distincts).

La Tanche laissera échapper les bulles d'air à mesure que la gêne due à la dilatation se produira; on remarquera que ces bulles s'échappent avec des intervalles ou des intermittences bien indiquées, et qu'elles sont volumineuses.

Le Sinchard laissera échapper aussi des bulles d'air, mais d'une manière plus continue et d'un très-petit volume.

Si ensuite on place ces Poissons dans une eau qui leur convient, qui se renouvelle suffisamment, en prenant la précaution qu'ils ne puissent pas venir à la surface, afin d'éviter la cause d'erreur qui résulterait de ce qu'un poisson pourrait prendre à l'atmosphère un peu d'air libre, on constate que la Tanche met plusieurs jours à refaire l'air qui a été soustrait, tandis que le Sinchard n'emploie que quelques heures.

Ce contraste s'explique par la présence des corps rouges qui existent dans la vessie natatoire du Sinchard, et qui manquent chez les Tanches, de même que chez les Cyprins et l'immense majorité des Poissons qui possèdent le canal aérien. Ces organes essentiellement vasculaires conviennent à l'absorption du gaz oxygène, comme je l'ai établi pour les Perches, les Vieilles, les Daurades, etc., et conviennent également pour une rénovation rapide du gaz.

La condition à laquelle ont été soumis ces deux Poissons est la diminution de la pression extérieure. Elle produit sur chacun le même effet, la sortie de l'air de la vessie natatoire. Cette condition, réalisée ici à l'aide de la pompe ou de la machine pneumatique, est réalisée dans la nature chaque fois que le

Poisson s'élève et passe d'une couche profonde à une couche plus superficielle. Si le Poisson laisse échapper une partie de l'air qu'il possède, il obtient aussitôt un soulagement certain, il reprend son volume normal; mais, en gagnant ainsi le volume normal sous cette pression nouvelle, il perd la possibilité de le retrouver au niveau de la couche profonde qu'il a quittée, jusqu'à ce que le gaz échappé se soit reformé. Le Cyprin le reforme avec une lenteur extrême; le Sinchard le reforme rapidement.

Ainsi le Sinchard peut, dans un temps relativement très-court, posséder à deux niveaux différents le volume normal, parce qu'il perd le gaz en excès et qu'il reforme le gaz qui fait défaut sans perdre de temps. Au contraire, le Cyprin qui, grâce au canal aérien, peut bien conserver, tout en s'élevant, le volume normal, ne reprend ce volume que très-lentement en regagnant la couche profonde qu'il occupait, et perd ainsi les bonnes conditions d'équilibre pour un temps beaucoup plus long.

Aucune espèce connue jusqu'à présent ne possède le double caractère que présente la vessie natatoire du *Caranx trachurus*, savoir : un canal ne s'ouvrant pas dans le canal intestinal, et, d'autre part, des corps rouges, c'est-à-dire la structure anatomique la plus favorable à la formation rapide du gaz dans la vessie natatoire.

C'est précisément l'absence de communication entre la cavité de l'organe et la bouche qui donne à ce canal son caractère de soupape ou de canal de sûreté. On ne peut, en effet, lui reconnaître d'autre office, et il se trouve ainsi, non plus l'organe capable de conduire l'air extérieur dans l'intérieur, l'organe analogue à la trachée-artère que l'on voit chez les Cyprins, les Salmones, les Murènes, mais le complément, le perfectionnement de l'appareil hydrostatique que représente la vessie natatoire, appareil que nous allons étudier. Grâce à ce canal, le *Caranx trachurus* possède, et au plus haut degré, le bénéfice dont jouissent les Poissons munis d'un canal aérien, savoir : de conjurer le danger des ascensions rapides, danger beaucoup

plus grand que celui des descentes rapides, comme nous le verrons plus loin, au chapitre IV.

Grâce à l'activité des corps rouges, il possède, comme je l'ai aussi expérimentalement constaté, l'avantage de former très-rapidement la quantité d'air qu'il a perdue en s'élevant à un niveau plus élevé, et de retrouver au niveau plus profond qu'il veut regagner les conditions les meilleures pour l'équilibre.

J'ai dû, dans ce que je viens de dire, un peu anticiper sur ce que je dois établir plus loin. Ce n'est, en effet, qu'au chapitre IV que l'on verra que c'est par la formation de nouvelles quantités de gaz que se traduit l'activité de la vessie natatoire pour constituer une densité constante sous la pression augmentée que subit le Poisson qui s'enfonce dans la profondeur.

La comparaison que j'ai faite du canal de sûreté du *Caranx trachurus* avec le canal aérien de la Tanche m'a conduit à considérer le canal du *Caranx* comme un perfectionnement ou un complément spécial de l'organe que je considère comme appareil hydrostatique, sans refuser d'admettre que le canal aérien peut remplir le même office.

J'ajouterai que le bénéfice de pouvoir faire pénétrer de l'air pris à la surface de l'eau, qui appartient aux Poissons munis du canal aérien et qui manque à ceux qui ont le canal de sûreté, c'est-à-dire le canal qui ne s'ouvre pas dans la bouche ni médiatement ni immédiatement, ce bénéfice est plus illusoire que réel, si l'on considère l'organe comme un appareil hydrostatique. En effet, le Poisson qui s'élève de la profondeur vers la surface en chassant l'excès de gaz conserve toujours le même volume et arrive à la surface avec son volume normal ; c'est ce que l'on a déjà vu plus haut en soumettant une Tanche à l'action de la machine pneumatique : à mesure que la pression diminue, elle dégage des bulles nouvelles et conserve la liberté de ses mouvements et la forme normale de son corps.

Arrivé à la surface de l'eau, le Poisson venu de la profondeur ne peut mettre à profit la faculté d'avaler de l'air pour posséder à un niveau plus profond la quantité convenable. En effet, une quantité nouvelle d'air introduite alors, quand il ne supporte

qu'une pression atmosphérique, donnerait lieu à une augmentation de volume qui le rendrait plus léger que l'eau et s'opposerait à sa descente. Il n'en est pas de même du Poisson qui a été soumis à l'action de la machine pneumatique. La tension de l'air de la vessie natatoire s'est mise sensiblement en équilibre avec la tension très-faible de l'air extérieur ; mais quand on rétablit la pression atmosphérique, il a un bénéfice évident à avaler et à faire pénétrer cet air dans la vessie natatoire, puisque devenu immédiatement trop dense, il reprendra un volume plus grand et une densité plus faible et plus voisine de celle de l'eau, à mesure qu'il réparera, en prenant l'air extérieur, la perte subie pendant l'action de la machine pneumatique.

Tout l'avantage appartient encore au Poisson muni du canal de sûreté, quand il s'agira d'un Poisson qui s'élève de la profondeur à une hauteur plus ou moins grande, sans pour cela atteindre la surface de l'eau. En effet, la présence des corps rouges lui donne un avantage considérable sur le Poisson qui n'a pas de corps rouges, en ce sens qu'il reformera beaucoup plus vite le gaz nécessaire pour reprendre en descendant le volume perdu en montant, et, comme nous l'avons dit, les Poissons qui possèdent un canal aérien sont privés de corps rouges : telle est la règle générale, à laquelle fait exception le genre *Muræna*.

CHAPITRE II.

PROBLÈME HYDROSTATIQUE DE LA VESSIE NATATOIRE.

Le rôle que joue le canal aérien dans l'équilibre du Poisson n'a jamais été discuté. On a de tout temps compris que le Poisson peut rejeter par ce canal l'air en excès, et qu'ainsi, lorsqu'il parvient à un niveau où la pression est moindre, et où, par conséquent, le volume de l'air intérieur augmente d'une manière incommode, gênante, ou même dangereuse, en ce qu'elle engendre pour lui une poussée verticale de bas en haut, poussée croissant d'intensité à chaque instant, le Poisson rejette par ce canal une partie de cet air dilaté et ne conserve que la

quantité qui, sous la pression actuelle, lui donne son volume normal et les conditions de l'équilibre.

Je laisse désormais de côté ces Poissons qui échappent aux dangers de la dépression grâce aux dispositions anatomiques dont il a été parlé dans le chapitre I^er^, et je vais m'occuper des Poissons à vessie close et du problème hydrostatique qu'ils présentent à étudier.

Les Poissons privés de vessie natatoire ont toujours une densité plus forte que celle de l'eau. C'est un point important établi par les travaux de Delaroche et confirmé par d'autres plus récents.

En outre, leurs organes étant solides ou imprégnés de liquide, la pression n'en modifie pas le volume; dès lors ces Poissons conservent une densité toujours la même aux diverses profondeurs, ils tendent toujours à s'enfoncer pour ne trouver de repos que sur le fond résistant. C'est en effet ce qui a lieu. La forme aplatie est fréquente parmi ces Poissons, dans lesquels se rangent les Raies, les Squales, les Turbots, les Soles, etc.

Delaroche a constaté aussi que les Poissons munis de vessie natatoire possèdent, à la condition que cet organe leur soit enlevé, une densité plus forte que celle de l'eau; mais examinés avec cet organe souple et extensible, leur densité varie dans des limites étendues en raison des pressions qu'ils supportent.

De l'absence de la vessie natatoire chez les Poissons excellents nageurs, comme les Squales, etc., on peut déjà conclure que cet organe ne joue pas un rôle capital dans la locomotion, et l'expérience de l'enlèvement de la vessie natatoire, qui laisse le Poisson capable de nager encore, achève de le prouver, et montre que, chez tous, les nageoires et la queue surtout sont les principaux organes de la locomotion. Néanmoins, en considérant des Perches, des Cyprins, qui montent et descendent avec tant d'aisance et qui possèdent une vessie natatoire volumineuse, on est conduit à se demander si un pareil organe à parois souples, non protégé par des enveloppes rigides, ne se modifie pas au gré de l'animal; et comme les parois de l'organe possèdent quelques fibres musculaires et que les muscles abdo-

minaux forment une sorte de ceinture qui peut agir sur le volume de l'organe, on est conduit à penser que ce volume est modifié d'une manière synergique avec les efforts des nageoires, et que la vessie natatoire est un auxiliaire des organes de la locomotion.

Quand on observe des Poissons qui vivent dans des eaux profondes, on constate ce que les pêcheurs ont journellement l'occasion de voir, que ceux qui sont attirés de la profondeur et qui possèdent une vessie natatoire, arrivent gonflés, parfois outre mesure, et tellement légers, que remis à l'eau, ils ne peuvent s'enfoncer. D'autres fois la vessie natatoire est rompue, l'air a passé dans la cavité abdominale, et le Poisson n'en est que plus incapable de reprendre librement ses mouvements.

Tous ces phénomènes tiennent à la dilatation que prend l'air de la vessie natatoire à mesure que le Poisson tiré par le pêcheur vers la surface subit une pression plus faible. Ils ont été décrits et analysés par Biot. On en trouve la description dans le premier volume des *Mémoires de la Société d'Arcueil*, p. 263. L'explication qu'il donne doit être acceptée sans réserve, et aujourd'hui on ne trouverait peut-être plus personne qui nierait ce fait que tous les pêcheurs connaissent, et l'explication que Biot en a donnée. J'ai été moi-même témoin de pareils faits dans la baie de Naples, et aussi sur les côtes de Bretagne; et si quelqu'un voulait un surcroît de preuves, il n'aurait pas besoin de se transporter sur les eaux profondes de la mer ou des lacs, il pourrait, comme je l'ai fait, soumettre un Poisson pourvu de vessie natatoire close, tel qu'une Perche, un Épinoche, etc., à l'action de la machine pneumatique. En choisissant différentes espèces, il reproduirait ce phénomène avec toutes ses variétés : tantôt la projection de l'estomac à travers la bouche, tantôt la distension excessive de l'abdomen; la rupture de la vessie natatoire à l'extérieur, ce qui dans la nature peut devenir pour le Poisson une cause de salut; la rupture à l'intérieur, ce qui donne lieu à la dilatation de la paroi abdominale et au renversement immédiat du Poisson, qui présente alors le ventre à l'air.

Bref, ces faits, pour avoir été encore contestés de nos jours (voy. p. 60), n'en sont pas moins connus depuis fort longtemps. Ils prouvent que l'action des muscles est, dans ce cas, impuissante à comprimer l'air quand le Poisson passe d'une pression forte à une faible, mais ils ne prouvent pas que pour des variations légères de pression, et telles que celles qui sont subies par le Poisson dans ses évolutions habituelles, les muscles ne peuvent changer le volume que la pression extérieure donne à l'organe, et le changer de manière à favoriser ses mouvements ou son équilibre.

Des deux remarques qui précèdent, savoir : que le Poisson dont on a retiré la vessie natatoire est plus lourd que l'eau, et que le Poisson muni d'une vessie natatoire devient plus léger que l'eau, s'il est élevé de la profondeur vers la surface, résulte cette conséquence qu'à une certaine profondeur ce Poisson ne doit être ni plus lourd ni plus léger que l'eau, mais posséder la densité même du milieu qu'il occupe.

Mais le Poisson ne reste point dans ce plan, dès lors la densité qu'il possède doit être modifiée, comme le volume, par le changement de pression, et il s'agit de voir comment fonctionne la vessie natatoire dans ces conditions. Pour aborder ce problème d'une manière expérimentale, je poserai les deux questions suivantes, dans lesquelles je résume le problème hydrostatique de la vessie natatoire :

1° Le Poisson se sert-il de sa vessie natatoire pour changer de densité suivant ses besoins de locomotion?

2° Le Poisson se sert-il de sa vessie natatoire pour prendre, quand il demeure dans le plan horizontal, la densité de l'eau?

CHAPITRE III.

LE POISSON SE SERT-IL DE SA VESSIE NATATOIRE POUR CHANGER SA DENSITÉ SUIVANT LES BESOINS DE LA LOCOMOTION?

Nous savons que le Poisson est incapable de comprimer sa vessie natatoire assez fortement pour résister à la force élastique de l'air intérieur quand il passe d'une pression considérable

à une faible pression; nous savons que l'air se dilate, que le Poisson est emporté vers la surface et qu'il y est retenu par une force supérieure; mais il convient de chercher si le Poisson qui s'élève ou s'abaisse d'une quantité relativement faible met ses muscles en jeu, et par leur action modifie le volume de la vessie natatoire d'une manière favorable à la fonction qu'il veut remplir. Les expériences qui suivent résolvent cette question.

Expérience I^re^. — La figure 3 donne immédiatement l'idée de cette expérience, dont voici la description :

Une Perche est placée dans une cage légère de fil métallique, soutenue par un ballon de verre auquel est joint un godet contenant du mercure. La densité moyenne de l'appareil est un peu plus faible que celle de l'eau, et la pointe fine du ballon s'élève au-dessus de la surface.

Cet appareil flotte dans un bocal qui ne contient d'eau que dans ses 9 dixièmes environ; un couvercle ferme le bocal exactement; il offre deux trous, dont l'un communique avec une pompe aspirante et foulante, l'autre avec un manomètre contenant de l'eau. Aussitôt que l'on comprime l'air dans le bocal, on voit la pointe qui surmonte le petit ballon et l'appareil contenant le Poisson s'enfoncer. On s'arrête et l'on maintient la pression au moment où la pointe ne fait plus qu'une très-faible saillie au-dessus de l'eau. On note à ce moment la hauteur du manomètre, et à l'aide de la pompe on ajoute une pression très-faible qui suffit pour que la pointe disparaisse sous la surface. Tout l'appareil descend alors jusqu'au fond du bocal, où il s'arrête, et si l'on veut faire remonter cet appareil, on remarque qu'il faut diminuer la pression d'une quantité beaucoup plus grande que la petite quantité surajoutée en dernier lieu pour submerger la pointe du ballon. Il faut diminuer la pression d'une quantité que le manomètre à eau mesure immédiatement et qui est précisément égale à la pression d'une colonne d'eau aussi haute que la verticale parcourue par l'appareil dans sa chute.

Voici ce qui est arrivé.

Le Poisson a diminué de volume, et quand la densité moyenne

de l'appareil est devenue plus forte que celle de l'eau, même d'une quantité infiniment petite, ce qui est survenu au moment où la pointe du ballon s'est cachée sous la surface de l'eau, alors l'excès, même très-faible, de la densité de l'appareil sur celle de l'eau amène sa chute dans un milieu que l'on peut considérer comme offrant la même densité à toutes les hauteurs; mais à mesure que le Poisson descend plus bas, la colonne d'eau grandit au-dessus de lui et diminue son volume sans que la pompe augmente la pression. Le Poisson descend ainsi avec une vitesse accélérée jusqu'au fond, où il arrive avec un volume diminué en raison de la pression de la colonne d'eau parcourue dans sa chute.

Il faut avoir soin, dans cette expérience, de choisir la cage qui contient le Poisson de telle façon que, sans le serrer, elle ne lui permette pas de nager ni de se soutenir dans l'eau avec ses nageoires. Il doit faire constamment corps avec la cage, afin que sa densité propre entre toujours comme composante dans la densité moyenne de l'appareil.

Tout Poisson privé de vessie natatoire et que j'ai soumis à la même épreuve n'a donné lieu à aucun phénomène pareil, son volume ne variant pas pour les pressions employées : tels le *Cottus Gobio*, le *Callionymus*, etc.

Cette expérience montre que chez un Poisson captif le volume de la vessie natatoire, apprécié ici par la densité, est en raison inverse de la pression; elle montre aussi que le Poisson n'a réagi par aucun artifice contre l'influence de la pression : il s'est comporté comme un ludion.

J'ai fait cette expérience sur des Perches, des *Labrus*, des *Cottus* de mer possédant la vessie natatoire, certaines espèces de ce genre en sont en effet privées; tous ces Poissons ont la vessie close. Ils se sont comportés comme il vient d'être dit.

Les Poissons qui ont un canal aérien, comme les Cyprins, ont été aussi soumis à l'influence des conditions décrites et se sont comportés comme ceux qui ont la vessie close. Il arrive en effet que, pour des dépressions faibles, le canal aérien n'est pas utilisé par le Poisson; néanmoins il convient de ne pas prendre

les Poissons qui ont un canal aérien pour ces expériences ; car, s'ils usent de la faculté qu'ils ont et rejettent une bulle d'air de leur vessie natatoire, les conditions se trouvent changées, et l'appareil n'a plus, après cette perte d'une bulle d'air, la densité qu'il avait au début et pour une même pression.

Après avoir montré les phénomènes qui se passent dans un cas simple, tel que celui du Poisson qui est captif et ne possède pas le jeu libre de ses nageoires, je passe aux phénomènes qu'offre le Poisson qui se transporte de lui-même à des niveaux variés.

Expérience II. — La figure 4 en montre le dispositif. Elle montre un Poisson qui se meut librement et donne la variation de son volume à chaque instant et pour chaque pression.

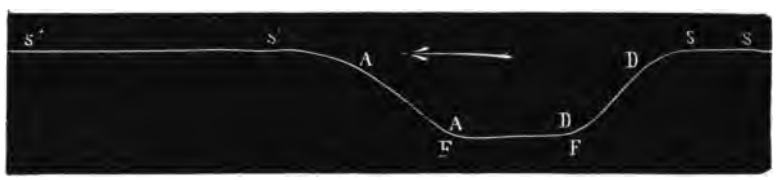
Un bocal de grande dimension est surmonté d'un couvercle en dôme que termine à sa partie centrale un tube avec un robinet destiné à faire échapper les dernières bulles d'air pour qu'il soit totalement rempli d'eau. Une ouverture latérale donne insertion à un tube coudé à angle droit, dans lequel l'eau s'engage et accuse par sa progression au dehors, ou par sa marche en arrière, une augmentation de volume du contenu du bocal, ou une diminution ; en effet tout, hormis ce tube, est fermé.

Une Perche placée dans ce bocal monte et descend, et parfois se maintient dans un plan horizontal. Au début de l'expérience, et quand le Poisson se trouve au bas du bocal, l'index, *c'est-à-dire la limite de l'eau*, est mis en A, c'est-à-dire dans la partie du tube horizontal la plus voisine du coude. Il est toujours facile, soit en ajoutant l'eau par l'entonnoir, soit en l'aspirant à l'extrémité libre, de placer au début de l'expérience l'index où l'on veut. A mesure que le Poisson s'élève, l'index chemine vers l'extérieur, et quand le Poisson arrive à la partie supérieure du bocal, l'index arrive vers le point B ; d'ordinaire le Poisson tourne alors en cercle dans un plan horizontal. Pendant tout ce temps l'index demeure en B et ne se rapproche du point A qu'autant que le Poisson redescend vers le fond du bocal. Quand il y arrive, l'index se retrouve en A et y demeure tant que le Poisson reste dans le plan du fond, soit immobile, soit en s'y promenant.

Ainsi, à chaque moment de l'ascension ou de la descente, la place de l'index correspond à la hauteur du Poisson, et j'insiste sur ce point que jamais l'observation ne révèle, au début d'une ascension ou d'une descente, un mouvement de l'index plus rapide et anticipant sur le mouvement qui se produit et qui suit régulièrement toutes les positions du Poisson estimées sur une verticale; pareillement, quand le Poisson s'arrête dans cette course pour rester dans le plan horizontal, l'observateur ne constate aucune rétrogradation, mais toujours la cessation du mouvement de l'index.

Comme rien ne change dans l'appareil, sinon la place que le Poisson occupe, c'est à lui qu'il faut rapporter l'augmentation et la diminution de volume accusées par l'index.

Je place ici un tracé fourni par cette expérience, c'est le Poisson lui-même qui l'inscrit. L'appareil inscripteur est celui que M. Marey a construit, et dont on trouve dans ses ouvrages une description détaillée.



Ce tracé correspond dans l'intervalle de S à S au Poisson nageant à la partie supérieure du bocal; de D à D il correspond à la descente du Poisson; de F à F à son séjour au fond du bocal; de A à A à l'ascension du Poisson; enfin de S' à S' à la station du Poisson revenu à la partie supérieure du bocal et s'y maintenant dans un plan horizontal. L'horizontalité du tracé dans les parties formées, quand le Poisson ne change pas de niveau, montre qu'il conserve le volume qui lui a été imposé par la pression extérieure.

Un tube de caoutchouc que l'on adapte à l'extrémité libre du tube horizontal transmet à un tambour la pression qu'apporte l'eau dans sa marche. Le tambour la transmet à un cylindre

tournant et donne, par la hauteur des ordonnées, les grandeurs relatives des changements de volume du Poisson (fig. 7).

Pendant l'expérience on constate que la plus grande hauteur des ordonnées du tracé correspond à la position du Poisson en haut du bocal et à la position de l'index en B, et que la plus petite ordonnée correspond à la position du Poisson au fond du bocal et à celle de l'index en A.

J'ai mis dans cet appareil des Perches, des *Labrus*, des *Trigla* et d'autres Poissons d'espèces variées, soit de mer, soit d'eau douce, tous munis de vessie natatoire; ils ont présenté le même phénomène, celui d'une dilatation croissant à mesure qu'ils s'approchaient de la surface avec permanence de la dilatation acquise dans cette ascension pendant tout le temps que le Poisson restait au sommet, et pareillement une diminution de volume accusée par le retrait de l'index pendant la descente vers le fond, et conservation du volume contracté dans la descente pendant le séjour au fond du bocal.

Les Poissons dont la vessie natatoire possède un canal aérien, Carpes, Anguilles, Congres, se sont comportés de même, ces Poissons ne faisant pas usage de la faculté qu'ils ont de rejeter l'air quand la distension subie n'est pas plus forte que celle qui s'observe dans l'expérience décrite.

Un Squale, un Callionyme, une Sole, ou tout autre Poisson privé de vessie natatoire, monte et descend dans le même appareil sans faire progresser l'index.

Cette expérience II est concluante en ce qui regarde la théorie admise (1) et ne permet pas de l'admettre davantage. En effet, cette théorie suppose que le Poisson qui descend de la surface vers le fond diminue de volume et se contracte pour faire servir à sa descente sa densité augmentée. Or, quand le Poisson descend, l'index ne rétrograde pas brusquement; il devrait le faire pour que la diminution de volume constituât un bénéfice réel au point de vue de la chute : mais non, l'index rétrograde lentement, suivant régulièrement les positions que le Poisson prend

(1) Voyez les citations de Borelli et des auteurs plus récents, chapitre V, p. 51 et suiv.

par rapport à la verticale. J'ai déjà insisté sur ce point capital. Pareillement pour l'ascension, la théorie admet que le Poisson diminuant la contraction normale de ses muscles, laisse l'air intérieur se dilater, et par suite le volume augmenter; mais il faudrait alors qu'au début de l'ascension il y eût un accroissement de volume accusé par la progression de l'index de A vers B. Or, jamais cela ne s'observe. L'accroissement est toujours en rapport avec la hauteur du Poisson, en d'autres termes, avec la pression extérieure.

Une autre conception de la théorie ancienne est celle qui admet que le volume du Poisson ayant été augmenté par la diminution de pression subie dans l'ascension, les puissances musculaires produisent une contraction qui rétablit le volume normal; l'expérience prouve qu'il n'en est rien, le tracé devient horizontal et demeure horizontal dès que le Poisson arrive au sommet de sa course et y reste sans s'élever ni s'abaisser.

L'observateur qui regarde la marche de l'eau dans le tube horizontal voit qu'elle suit régulièrement la hauteur verticale du Poisson, et que par conséquent le volume de celui-ci n'est jamais soumis à une influence autre que celle de la pression extérieure.

Je donne donc cette expérience comme la réfutation de la théorie admise.

Parmi les espèces que j'ai soumises à l'expérimentation, je dois citer particulièrement plusieurs sortes de *Trigla*, telles que les *Trigla Hirundo*, parce que ces espèces possèdent des muscles très-épais et très-forts dans l'épaisseur même des parois de la vessie natatoire. On pouvait penser que l'action de ces muscles sur l'organe était utilisée pour contrebalancer l'effet de la pression extérieure : par exemple, que le Poisson quittant un niveau pour un autre plus superficiel et subissant une dilatation en rapport avec la diminution de pression, corrigerait, en comprimant cet organe à l'aide de ses muscles, l'augmentation subie. Mais il n'en est rien, et les tracés que j'ai pris, tracés dans lesquels le volume s'inscrivait de lui-même, ont montré que le *Trigla*, comme les Poissons qui n'ont point de couches

musculaires propres à la vessie natatoire, varie de volume et subit la pression extérieure sans s'adapter jamais par un effort musculaire à la pression nouvelle, et sans reprendre par cet artifice la densité qui lui convient.

On verra au chapitre VI ces muscles utilisés et des nerfs spéciaux se porter sur eux en vue d'une fonction de phonation propre à ces espèces.

La seconde expérience est plus concluante que la première, parce que dans la première le Poisson est captif dans sa cage et ne peut remuer ses nageoires. On pouvait en effet penser que libre, nageant, montant et descendant, et mettant en jeu les moyens qu'il possède, il agirait sur sa vessie natatoire en même temps que sur ses nageoires, et par des efforts énergiques se déplacerait dans le sens où il veut aller, et avec le volume le plus favorable qu'il pourrait se donner; tandis qu'immobilisé, privé de l'action de ses nageoires dans une cage étroite, il demeurait passif et n'usait pas de la faculté de changer son volume.

Mais la seconde expérience prouve que cette faculté n'est pas réelle, car elle ne s'exerce pas dans les conditions choisies pour son meilleur usage.

Dans l'expérience II l'action des nageoires permet au Poisson de se maintenir à différents niveaux, quoiqu'il ait un volume et par conséquent une densité dépendant de ce niveau. Si l'on immobilisait ses nageoires par un moyen quelconque, il retomberait dans la condition de l'expérience I, où le Poisson suit toujours une verticale et obéit à la poussée qui résulte de la dernière densité imposée par la pression extérieure. Ainsi on le voit, à différents niveaux, ne possédant pas la densité de l'eau et cependant s'y maintenant sans difficulté par le jeu de ses nageoires. Il n'en serait pas ainsi, cependant, si l'on agissait dans des conditions telles que les différences de niveau représenteraient plusieurs atmosphères, ou, en d'autres termes, plusieurs fois 10 mètres de hauteur verticale.

Expérience III. — Représentée figure 5, elle réunit les effets des deux premières expériences. On peut observer à la fois sur

un Poisson les effets de la pression extérieure, que l'on règle soi-même et que l'on mesure avec le manomètre, et les effets dus aux changements de niveau que le Poisson subit de son plein gré en se transportant plus haut ou plus bas à l'aide de ses nageoires.

Les deux expériences précédentes sont, pour ainsi dire, l'analyse de celle-ci, qui les résume.

La fig. 5 montre le dispositif de cette expérience dans laquelle les variations de la pression extérieure indiquée par le manomètre produisent sur le Poisson une variation de volume visible immédiatement sur la partie horizontale d'un tube de verre surmontant le bocal. En outre, le Poisson, libre de se mouvoir, subit, en s'élevant ou en s'abaissant d'une quantité même très-petite et qui n'est qu'une fraction de son diamètre vertical, un changement de volume qui devient aussitôt visible sur le même tube horizontal. On constate donc tantôt le changement de volume dû à la pression que l'on impose, tantôt le changement de volume dû au changement de niveau que le Poisson subit en s'élevant par ses nageoires ou en s'abaissant. Cette expérience est disposée comme il suit : Un grand bocal sphérique offrant un col d'un diamètre d'environ 8 centimètres permet l'introduction d'un Poisson de bonne taille. Ce col, une fois le Poisson introduit, est fermé avec un flacon dont le fond est supprimé et qui a été usé à l'émeri. Sur ce tronçon de flacon on place un bouchon de caoutchouc percé de deux trous : dans l'un, on adapte un tube de verre coudé et dont la partie horizontale est aussi longue que possible, c'est-à-dire que le diamètre du bocal cylindrique. Cet appareil étant rempli d'eau, on enfonce dans le second trou du caoutchouc un tube plein qui fait monter l'eau dans le tube coudé jusqu'au point convenable.

Cet appareil est placé lui-même dans un grand bocal cylindrique contenant de l'eau jusqu'au-dessus du bouchon de caoutchouc; ce bocal est fermé hermétiquement par un couvercle horizontal offrant deux ouvertures : l'une communique avec une pompe aspirante et foulante, l'autre avec un manomètre.

Si l'on vient à diminuer la pression de l'air intérieur, on voit aussitôt, le Poisson ayant une vessie natatoire, l'eau s'élever et s'avancer dans le tube coudé vers son extrémité libre. Au contraire, vient-on à augmenter la pression de l'air intérieur, l'eau rétrograde dans le tube coudé du côté de l'intérieur.

Si on laisse la pression persister au même degré, ce que le manomètre indique par son immobilité, on ne tarde pas à voir le Poisson, qui est à l'étroit, s'élever un peu ou descendre un peu, et, dans ses mouvements, donner lieu à une progression de l'eau vers le dehors ou à une rétrogression vers le dedans, très-appréciable dans le tube horizontal muni d'une échelle graduée lisible à travers le bocal. Les moindres mouvements du Poisson qui donnent lieu à un déplacement par rapport au plan horizontal qu'il occupait se traduisent immédiatement.

Cette expérience montre donc encore une fois que les plus petites différences de pression venues de l'extérieur se traduisent par des différences correspondantes dans le volume du Poisson, et que celui-ci ne réagit en aucune manière et ne corrige point par un effort musculaire et par un artifice quelconque l'effet immédiat de ces pressions extérieures.

On constate dans cette expérience les deux résultats déjà acquis, savoir : celui de l'expérience I, où l'on voit que l'augmentation de la pression extérieure à l'aide de la pompe donne lieu à une diminution de volume; mais tandis que dans l'expérience I le phénomène se traduit par un changement de densité, ici c'est le changement de volume qui est directement apprécié par la progression de l'index; et celui de l'expérience II, où l'on voit que le Poisson qui sort du plan horizontal subit en même temps dans son volume un changement indiqué par la progression de l'index.

Avant de passer à de nouvelles expériences, je rappelle ici les opinions les plus accréditées et je les mets en face des résultats fournis par les expériences I et II.

On a pensé (voy. chapitre V) que le Poisson agissait à l'aide de ses muscles pour rétablir le volume normal, quand le changement de niveau lui impose un volume nouveau; mais

nous voyons par le tracé et par le récit de l'expérience II que le Poisson changeant de niveau change bien de volume en raison de la pression nouvelle, mais qu'arrivé au terme de sa course verticale, il ne reprend pas le volume qu'il avait en partant. Or s'il avait son volume normal, il subit un volume anormal et ne corrige pas par l'action de ses muscles l'effet fâcheux de la pression extérieure.

On a pensé que le Poisson qui descend diminue son volume à l'aide d'une contraction musculaire et vient ainsi en aide à l'action de ses organes de locomotion proprement dits, et réciproquement, que le Poisson qui monte agit, en relâchant la contraction normale de ses muscles, sur le volume de la vessie natatoire et favorise le jeu de ses autres muscles en prenant une densité plus faible; mais les détails sur lesquels nous avons insisté en décrivant l'expérience II montrent qu'il n'en est rien.

Il est donc établi par cette discussion que le Poisson n'agit pas à l'aide de ses muscles pour changer le volume de sa vessie natatoire et en faire un organe auxiliaire de la locomotion.

EXPÉRIENCES NOUVELLES BONNES A CONNAÎTRE POUR UNE DISCUSSION PLUS APPROFONDIE.

Pour ne pas compliquer le récit, j'ai passé sous silence des phénomènes que l'on rencontre en exécutant les expériences qui précèdent. Ils peuvent donner lieu à quelque hésitation; on verra qu'ils ne changent en rien les résultats que nous avons signalés, mais qu'ils méritent d'autant plus d'être décrits et expliqués qu'ils sont de nature physiologique.

On rencontre aussi des variations de niveau de l'eau qui tiennent à des variations de température; elles sont vite appréciées par l'observateur, qui doit, dans de pareilles expériences, comme dans toute pratique expérimentale, s'habituer aux appareils et les connaître de façon à dégager ce qui appartient aux conditions physiologiques. Les variations de température sont principalement dues à l'excès de chaleur du milieu extérieur sur l'eau qui remplit l'appareil, ou inversement. Elles peuvent

tenir aussi à l'état d'humidité de la surface extérieure mouillée dans les manipulations qui devient le siége d'une évaporation que les courants d'air augmentent.

Les variations de niveau dues à ces causes peuvent être évitées avec quelques soins ; mais d'ailleurs elles ne gênent pas l'observateur, parce qu'avec un peu d'attention on constate dans quel sens elles se font. On voit leur progression régulière, lente, non interrompue, qui contraste avec le caractère des variations dépendant des mouvements d'ascension ou de descente du Poisson et coïncidant avec eux.

Je ne m'arrêterai donc pas davantage à ces variations dues à des conditions physiques étrangères au Poisson.

L'expérience I nous a montré le Poisson se comportant comme un ludion ; je vais montrer que ce ludion est vivant, et par cela même changeant, en raison de conditions physiologiques.

Expérience IV. — Si l'on place une Perche dans un bocal de grandeur ordinaire, capable de contenir l'appareil, composé d'une cage et d'un voluménomètre (ici ce n'est pas une boule surmontée d'une pointe étroite et courte, mais surmontée d'une tige longue, graduée comme celle des alcoolomètres ordinaires (fig. 11) et dont le volume total représente de 1 à 4 ou 5 centimètres, suivant le volume du Poisson), on constate, à la pression ordinaire de l'air libre, que l'appareil s'enfonce lentement, mais d'une manière sensible dans l'espace d'un quart d'heure, ou mieux d'une demi-heure et plus pour un Poisson bien portant.

Il arrive en effet que le Poisson devient de plus en plus dense parce qu'il est placé dans une petite quantité d'eau, et il consomme l'oxygène de la vessie natatoire sans le remplacer par une quantité équivalente d'azote ; ce qui amène, d'une part une diminution de volume, et en outre une disparition de l'oxygène, comme on le verra au chapitre VII.

Remarquons, relativement à l'expérience II, que cette absorption d'oxygène ne trouble en rien l'observation, parce que le Poisson monte et descend dans un temps beaucoup plus court que celui qui donne lieu à une absorption d'oxygène et à une diminution appréciable de volume.

Mais quand on fait agir la pompe dans l'expérience I pour faire descendre et monter le Poisson, on observe au bout de quelques minutes que le manomètre ne marque plus exactement les mêmes pressions qu'au début pour les mêmes positions de l'appareil.

La pression à employer va en diminuant. Cette pression est lue sur le manomètre au moment de l'enfoncement; mais, comme au moment de l'ascension, elle va aussi en diminuant d'une même quantité, comme le montre le manomètre, il en résulte que la différence entre les pressions au moment de la chute et au moment de l'ascension est toujours la même, et elle est égale à la pression de la colonne d'eau parcourue par l'appareil dans sa course verticale.

Sous la forme suivante le phénomène est facile à comprendre :

Soit h, le poids de la colonne d'eau constante que l'appareil parcourt dans la chute;

Soit p, la pression de l'air au commencement des expériences;

Soit K^2, la pression aussi petite que possible qui décide la chute de l'appareil en équilibre à la surface et n'ayant qu'une pointe aussi petite que l'on voudra hors de l'eau.

$p + K^2$ donnera la chute, et l'appareil au fond du bocal supportera $p + K^2 + h$. La densité de l'eau étant la même au fond et à la surface, il faut, pour faire remonter l'appareil, toujours retirer $h \times K^2$. Maintenant nous savons, par l'expérience IV, que le volume du Poisson diminue dans une eau limitée, ce qui est le cas présent; la pression extérieure p sera trop grande, et il faudra mettre à la deuxième épreuve $p' < p$, et d'autant plus petit, que le volume aura diminué davantage, c'est-à-dire que le Poisson aura consommé plus d'oxygène de sa vessie.

Nous voyons donc que le Poisson est un ludion, mais un ludion qui, dans les conditions de l'expérience décrite, diminue la quantité d'air qu'il contient en raison de l'absorption de l'oxygène.

On peut reproduire avec un ludion ce phénomène et montrer par là que l'on possède bien la condition physique de sa production.

Une boule de verre pleine d'air et percée d'un trou à la base est à la partie essentielle du ludion. Par le trou s'exerce la pression extérieure sur l'air compressible, et l'appareil dont les parois sont rigides, change de densité grâce à ce trou. J'ai fait un ludion que j'ai rempli d'un mélange d'air et d'acide carbonique. La solubilité de ce dernier gaz a donné lieu à une absorption lente d'une partie de l'air intérieur, et j'ai obtenu les effets que je viens de décrire avec l'appareil dont le Poisson vivant est la partie essentielle, grâce à ses parois non rigides se comprimant suivant la pression extérieure, grâce aussi au phénomène vital de la circulation du sang et de l'absorption de l'oxygène donnant lieu à une diminution de la quantité totale de l'air intérieur.

Ainsi le Poisson perdait son oxygène, que ses tissus absorbaient; le ludion perdait son acide carbonique que l'eau dissolvait.

Je le répète, ces phénomènes ne changent en rien ce qui ressort de l'expérience, savoir, que la densité du Poisson est en raison de la pression qu'il supporte : dans la nature, la quantité d'oxygène qui est à la disposition du Poisson est pour ainsi dire inépuisable.

Mais il ne faut pas s'exagérer l'importance de cette absorption d'oxygène. Celui qui fait deux observations consécutives sans temps perdu peut trouver identiquement les mêmes nombres et ne pas avoir d'absorption appréciable. J'ai cru cependant devoir en parler.

L'expérience V fournit un résultat en apparence opposé à celui des expériences précédentes.

Dans cette expérience, on voit en effet le Poisson produire, quand il est excité, ou même spontanément, une diminution de volume qui évidemment n'est pas le fait d'une pression extérieure et doit être regardée comme active. Voici cette expérience.

Je place une Perche vivante sur un moule de gutta-percha qui a reçu l'empreinte d'un Poisson de même dimension. Ce moule ne reçoit que la partie du corps du Poisson qui est en arrière des ouïes, dont les mouvements demeurent libres et permettent à la respiration de continuer (fig. 6).

Quelques liens maintiennent le Poisson appliqué contre ce moule, et deux rhéophores sont fixés de façon que le courant électrique passe en deux points opposés et tende à traverser l'animal.

Ce moule de gutta-percha est fixé sur un support de métal et plongé dans un bocal cylindrique complétement plein d'eau et fermé par un couvercle qui offre deux bornes auxquelles aboutissent les fils de la bobine d'induction se continuant par elles avec les rhéophores qui touchent le Poisson.

Ce couvercle présente deux ouvertures : l'une, centrale, permet à l'eau de monter dans un tube coudé à angle droit et gradué ; l'autre donne passage à un cylindre qui est enfoncé plus ou moins pour obtenir au début une élévation de l'eau dans le tube coudé en rapport avec ce que l'on veut constater.

Une bobine d'induction en rapport avec une pile et un interrupteur complètent l'appareil.

A un moment donné, je fais passer un courant électrique instantané ; aussitôt l'eau qui remplit, outre le bocal cylindrique, le tube coudé jusqu'au voisinage de son extrémité libre, rétrograde, puis revient instantanément à la place qu'elle occupait.

Je répète alors l'expérience et j'obtiens le même résultat ; mais à chaque répétition le même phénomène se reproduit avec une intensité moindre, ce qui rappelle les phénomènes bien connus de contraction musculaire qui vont en s'affaiblissant chaque fois qu'on répète l'excitation.

Dans l'expérience que je viens de décrire c'est cette excitation qui détermine le brusque retrait de l'eau en rapport avec la diminution de volume résultat de la contraction musculaire.

Je suis parvenu, en modifiant un peu la disposition de l'appareil, à obtenir des diminutions de volume par contractions spontanées. Pour cela j'ai placé, dans le bocal où le Poisson tout à fait libre se meut en tous sens, une tige verticale terminée inférieurement par une tige horizontale placée au-dessus du fond, à une hauteur qui gêne le Poisson quand il veut tourner. Le Poisson monte et descend ; mais forcé de monter en suivant une inclinaison très-voisine de la verticale, il se meut volontiers

horizontalement. Il rencontre à chaque instant cette tige un peu flexible, et bientôt se contracte brusquement pour la rompre dans un mouvement d'impatience bien accusé. Dans cet effort violent, il diminue de volume ; on voit, en effet, l'eau rétrograder dans le tube horizontal (fig. 4).

Ces phénomènes s'inscrivent d'eux-mêmes quand on ajoute à l'appareil un tube de caoutchouc engagé dans le tube de verre horizontal et se terminant à un tambour en rapport avec un cylindre enregistreur (fig. 7).

Considérons le tracé obtenu sur le Poisson retenu dans ce cadre et soumis à des excitations électriques, et nous voyons que les diminutions de volume correspondant aux contractions sont de plus en plus faibles. Voici ce tracé :

Considérons maintenant le tracé obtenu avec un Poisson libre qui monte et descend et qui rencontre une tige placée à dessein.

Pendant sept ascensions et descentes le tracé est régulier et n'accuse que les variations de volume en rapport avec les changements de niveau ; mais, au bas de sa course, la Perche, qui rencontre l'obstacle, s'est contractée deux fois violemment. L'observateur constate l'effort brusque par la forme contournée que le Poisson prend, et voit que cet effort coïncide avec le retrait de l'eau dans le tube horizontal et avec l'interruption de la ligne horizontale dans le tracé. Voici le second tracé:

Cette diminution de volume est, comme on peut le voir, faible, comparée à celle que le Poisson subit en changeant de niveau

pour une hauteur d'environ 60 centimètres; elle est brusque, elle suppose un effort violent instantané.

Ces motifs obligent à admettre que le Poisson n'est capable que d'une manière tout à fait passagère de produire ces diminutions de volume, et cette expérience fait réfléchir sur un point qui certainement a été entrevu, mais qui évidemment n'avait point fixé l'attention d'une manière suffisante. Je veux dire que l'on a supposé, dans la théorie ancienne, que le Poisson changeait par un travail musculaire son volume d'une manière prolongée nécessairement; or cette supposition implique une dépense de forces considérable, inouïe.

Cette expérience, où je montre une diminution active de la vessie natatoire, peut-elle m'être opposée comme un argument en faveur de la théorie admise? Non. Prise isolément, cette expérience augmente la vraisemblance de la théorie généralement admise; mais pour un esprit rigoureux une vraisemblance n'est qu'une illusion, quand des preuves directes et précises montrent que la proposition supposée vraie est contredite par les faits. Or, il ne s'agit pas de savoir si le Poisson peut changer son volume, il faut savoir s'il le change pour monter, descendre, se maintenir en place. Les faits disent non.

L'expérience II est concluante à cet égard, et il n'est pas permis d'admettre, en face du fait qu'elle révèle, que le Poisson s'impose, dans les mouvements de descente, des contractions semblables à celles qu'il a présentées d'une manière tout à fait passagère sous l'influence d'une commotion électrique ou d'un sentiment d'impatience.

Admettons un instant que le Poisson qui commence à descendre produise cet effort et cette diminution de volume que nous lui voyons produire sous des influences spéciales : il favorisera sa descente; mais quand il cesse de descendre, il devra naturellement cesser de faire cet effort, désormais nuisible, et l'on devra alors voir le volume augmenter. Or, on ne le voit pas; donc le changement de volume est passif.

La réfutation que je présente des idées admises consiste, comme on le voit, à dire que le Poisson se comporte, pour les

plus faibles changements de pression, comme s'il était impuissant à reprendre le volume normal qu'il a perdu par l'action d'une pression nouvelle.

L'expérience II montre aussi qu'il ne met pas en jeu ses muscles pour opérer sa descente ou son ascension par un changement convenable de densité, ni même pour venir en aide à la nageoire caudale et aux autres puissances locomotrices qu'il possède en commun avec le Poisson privé de vessie natatoire.

En résumé, les expériences que je donne dans le présent chapitre fournissent une réponse absolument négative à la question posée à la fin du chapitre II, savoir :

Le Poisson se sert-il de sa vessie natatoire pour changer de densité suivant ses besoins de locomotion ?

CHAPITRE IV.

LE POISSON SE SERT-IL DE SA VESSIE NATATOIRE POUR PRENDRE, QUAND IL DEMEURE DANS LE PLAN HORIZONTAL, LA DENSITÉ DE L'EAU ?

L'expérience II nous a montré que le Poisson qui montait subissait une diminution de volume en rapport avec la pression, et, de plus, qu'il gardait ce volume diminué quand il cessait de monter. Ainsi, le Poisson ne se sert pas de sa vessie natatoire pour prendre la densité qui lui convient, il subit celle que lui impose la pression nouvelle.

L'expérience II nous a montré aussi que le Poisson qui descend se comporte de même, en ce sens qu'il conserve au bas de sa course le volume que lui a imposé la pression nouvelle.

Il semble donc que la question soit résolue ; mais l'expérience qui suit (exp. VI), dans laquelle le Poisson est maintenu pendant un temps prolongé suffisamment dans la station à une pression nouvelle, donne un résultat important : elle montre que la vessie natatoire est le siége d'un travail incessant qui rend au Poisson la densité de l'eau quand il a changé de niveau (fig. 13).

Cette expérience consiste à prendre un Poisson qui vit depuis un certain nombre de jours près de la surface de l'eau, à lui imposer ensuite une pression déterminée que l'on fait durer un

certain temps, et à constater le changement de volume qu'il subit au bout de ce temps.

Je compare les volumes offerts par le même Poisson à ces deux instants différents comme il suit :

Un Poisson à vessie close est maintenu dans une cage de fils métalliques (fig. 8) suspendue à un ballon de verre (fig. 9) terminé supérieurement par un tube gradué. L'appareil est plongé dans l'eau, et l'on emploie un godet de mercure (fig. 10) ou des anneaux de métal pour obtenir un affleurement convenable. Le degré qu'indique le tube vertical est inscrit ; puis le Poisson, placé sous la pression requise, est repris après un temps suffisant et replacé dans le même appareil qui possède rigoureusement le même poids. Si la quantité de gaz de la vessie natatoire a varié, le volume de l'organe a varié, et la différence est donnée par l'enfoncement que présente le tube (fig. 11).

Supposons en effet qu'un changement, par exemple, une augmentation de la quantité d'air, se produise. La vessie natatoire étant extensible, il en résulte une augmentation dans le volume et une diminution dans la densité correspondante (le poids de l'air surajouté est ici négligeable). Cette diminution de la densité se traduira par un relèvement de la tige qui offrira au-dessus de la surface de l'eau une colonne plus grande que celle qui émergeait lors de la première observation, et, comme le poids du Poisson peut être considéré comme n'ayant pas varié, le volume nouveau qui émerge et qu'indique immédiatement la graduation représente l'augmentation de volume subie par le Poisson.

Expérience VI. — Une Vieille (*Labrus maculatus*), de la taille d'une Perche moyenne de rivière, vit à fleur d'eau depuis plusieurs jours ; elle est soumise, dans un panier submergé, à l'influence d'une pression de 7 à 8 mètres pendant deux jours, après avoir été placée dans le voluménomètre. Au bout des deux jours elle est retirée de cette profondeur et placée dans l'appareil déjà cité. Le tube qui surmonte ce voluménomètre offre, au-dessus du niveau de l'eau, une longueur supérieure à celle qu'il offrait au moment où le Poisson, deux jours auparavant, allait être placé dans le panier submergé. L'excès qui émerge représente $6^{cc},56$.

Elle est alors remise à la même pression et y demeure encore deux jours, au bout desquels elle offre, replacée dans le densimètre décrit plus haut, encore une augmentation de $1^{cc},76$. Elle a augmenté en quatre jours de $8^{cc},32$.

On constate en outre que sa densité est devenue plus légère que celle de l'eau, puis on la place dans un bassin de moins d'un mètre de profondeur. Cinq à six heures après son séjour à fleur d'eau, elle est replacée de nouveau dans l'appareil mesureur, et elle offre une diminution de $3^{cc},84$ dans son volume, puis vingt-quatre heures plus tard une seconde diminution de $2^{cc},56$. Un jour encore après, la diminution nouvelle fut de 1,44, et enfin, le troisième jour, la diminution fut de 0,16. Ainsi, en trois jours, ce Poisson subit une diminution de 8 centimètres cubes. Il avait en quatre jours subi une augmentatiou de $8^{cc},32$.

Il était donc revenu à son état primitif, à celui qui lui est normal quand il occupe la superficie de l'eau.

A propos de cette expérience que j'ai citée dans le Mémoire (*Comptes rendus de l'Académie des sciences*, 1874, t. II, p. 1296), je ferai remarquer que le véritable nombre représentant la diminution de volume subie le premier jour est de $2^{cc},56$, comme il est écrit ici, et non $1^{cc},28$, comme il est donné dans les *Comptes rendus*. Mon journal d'expériences du 31 octobre 1874 ne laisse pas de doutes à cet égard et me permet de rectifier cette petite erreur.

Autre exemple :

Un *Labrus variegatus*, plus petit que le précédent, est placé dans le panier submergé, à 7 ou 8 mètres de profondeur. Retiré après deux jours et placé dans l'appareil, on constate une augmentation de volume de $4^{cc},64$.

On constate aussi que sa densité est devenue plus légère que celle de l'eau. Il est alors placé dans un bassin peu profond, où il vit à fleur d'eau.

	cc
Après un jour on constate une diminution de.....	2,88
Après un jour.....	0,64
Après un jour.....	0,48
Après un jour.....	0,48
Ainsi en quatre jours on obtient..... de diminution de volume.	4,48

En regardant les nombres obtenus dans ces deux expériences, on remarquera que le Poisson qui subit un passage brusque d'un certain niveau à un autre, où il demeure un temps prolongé, éprouve un changement d'autant plus rapide, qu'on l'examine plus près du moment où ce passage a lieu.

Ainsi, le premier Poisson reste deux jours à la profondeur de 7 à 8 mètres et gagne $6^{cc},56$; on le laisse encore deux autres jours, il ne gagne plus que $1^{cc},76$.

Réciproquement, ce premier Poisson est ramené à la surface et examiné aussitôt, puis cinq heures plus tard, et dans l'espace de ces cinq heures il diminue de $3^{cc},84$, et ensuite il lui faut vingt-quatre heures pour diminuer de $2^{cc},56$; puis, en l'espace d'un jour, il ne diminue plus que de $1^{cc},44$, et enfin le troisième jour il n'offre plus que $0^{cc},16$ de diminution.

On observe une décroissance analogue pour le deuxième Poisson dans les jours qui se succèdent à partir du moment où il offre le plus grand volume.

On a constaté aussi que ces deux Poissons, après leur séjour à la profondeur de 7 à 8 mètres, étaient devenus, une fois portés à fleur d'eau, plus légers que l'eau, par le fait même de l'augmentation de la quantité de gaz dans l'organe. Il est clair qu'à cette profondeur de 7 à 8 mètres la pression qu'ils subissaient et qui approchait de 2 atmosphères, en diminuant leur volume, leur rendait une densité favorable.

Cette observation montre en même temps ce que révélait depuis longtemps le fait de la dilatation énorme subie par les Poissons pris dans les grandes profondeurs, mais elle le montre d'une manière plus intéressante, en faisant voir que la quantité d'air que possède le Poisson à une petite profondeur, comme celle de 8 mètres, trop forte pour qu'il vive à son aise à la surface, s'absorbe peu à peu, et de plus elle montre que ses puissances musculaires ne sont pas utilisées pour comprimer le ressort que donne l'air nouvellement ajouté, et qui est précisément égal au poids d'une colonne de 8 mètres de haut.

L'observation suivante le montre d'une manière plus nette

encore que les précédentes, parce que le Poisson est considéré libre dans tous ses mouvements.

Un Bar de la taille d'une Perche au-dessus de la moyenne fut placé dans le panier submergé, à 7 ou 8 mètres, pendant plusieurs jours. Retiré et placé dans un bassin qui avait moins d'un mètre de profondeur, et dont une paroi formée d'une glace transparente facilitait les observations, il nageait en tous sens, était vif et bien portant; cependant je le voyais souvent se reposer immobile à la surface de l'eau, offrant, outre ses nageoires dorsales, une partie du dos complétement à l'air. Il fallut environ trois jours pour qu'il pût se reposer ailleurs. D'heure en heure je constatais que la partie émergée diminuait.

Ce Bar s'accommodait peu à peu à la pression d'une atmosphère, pression relativement faible, en absorbant une partie de l'air qu'il possédait, car c'est un Poisson à vessie tout à fait close.

J'ai fait, sur des Grondins des remarques semblables. Ils étaient devenus moins denses que l'eau après un séjour dans le panier submergé, et je cite le *Trigla Hirundo* en particulier, parce que l'épaisseur et la puissance des muscles de la vessie natatoire étaient des arguments qui augmentaient la vraisemblance des idées théoriques admises.

L'expérience a montré que ce Poisson n'utilisait pas les muscles propres de l'organe, muscles exceptionnellement forts. Le *Trigla Hirundo* se comporte comme les Poissons qui ont des vessies natatoires privées de fibres musculaires. Il subit les changements de pression sans réagir contre eux par des puissances mécaniques, mais il réagit comme les Poissons dont je viens de citer les observations, par d'autres moyens : par l'absorption de l'air en excès quand il est porté à un niveau plus superficiel, et par la production d'une nouvelle quantité d'air quand il s'enfonce dans la profondeur.

Des Squales, au contraire, poissons privés de vessie natatoire, ont été placés dans le panier submergé; leur volume, examiné chaque jour, a été trouvé constamment le même. On voit là une preuve nouvelle que la vessie natatoire est l'organe qui donne lieu aux variations de volume décrites plus haut.

Toutes les espèces munies de vessie natatoire et appartenant à des genres quelconques, *Mugil*, *Labrax*, *Trigla*, *Labrus*, et autres, que j'ai eu l'occasion de mettre dans les mêmes conditions, c'est-à-dire de placer quelque temps à une profondeur déterminée et de laisser ensuite à la surface de l'eau, ont présenté les mêmes phénomènes.

On voit ainsi que le Poisson qui s'enfonce dans l'eau subit un travail intérieur qui donne lieu à l'accumulation d'une nouvelle quantité de gaz. Et réciproquement, celui qui s'élève rers la surface subit une diminution de la quantité de gaz qu'il possède dans l'organe, cette diminution se faisant par absorption dans les espèces dont la vessie est close.

Dans les deux cas le volume du Poisson tend vers le volume normal. En effet, si le Poisson vit à la surface avec le volume normal, il est clair que placé dans la profondeur où il subit une pression plus grande, il subira une diminution de volume; c'est ce que nous avons vu directement dans les expériences I, II et III. Il devra donc, pour revenir au volume normal, produire dans sa vessie natatoire une quantité nouvelle de gaz. C'est ce qu'il fait.

Réciproquement, le Poisson qui vit depuis un temps suffisant à une certaine profondeur et qui y est en équilibre, possédant le volume normal, possède par cela même la quantité d'air qui fait équilibre à la pression extérieure. S'il est amené par une cause quelconque à un niveau plus superficiel, l'air contenu dans l'organe tend à prendre et prend un volume exagéré; c'est ce qui se manifestait sans le secours d'aucun appareil chez le Bar ramené de la profondeur de 7 à 8 mètres, et qui ne pouvait se reposer qu'avec une grande partie de son corps à l'air. Il était donc victime d'une densité trop faible, et pendant les heures et les jours qui suivirent ce retour de la profondeur vers les couches superficielles, il absorba l'excès de gaz, et reprit la liberté de ses mouvements en reprenant le volume et la densité normale avec la pression atmosphérique, telle qu'elle est à la surface de l'eau. Si l'on regarde les volumes différents émergeant de l'appareil, volumes qui indiquent les quantités de gaz qui apparaissent ou disparaissent, on remarque que l'activité phy-

siologique de la formation, aussi bien que de l'absorption, est, comme je l'ai dit plus haut, d'autant plus grande qu'on observe le Poisson plus près du moment où il a changé de pression. Il y a donc un travail incessant de formation et d'absorption de gaz, travail dont le but est d'équilibrer le Poisson en reformant le volume normal que le changement de pression a altéré.

La réponse à la deuxième question posée est donc tout à fait positive.

CHAPITRE V.

THÉORIE RÉSULTANT DES EXPÉRIENCES PRÉCÉDENTES. — PLAN DES MOINDRES EFFORTS. — OPINIONS ET THÉORIES DES AUTEURS.

L'expérience II montre que le volume du Poisson diminue à mesure qu'il descend, et offre la plus grande diminution au moment où il atteint le niveau le plus bas. Il se comporte comme le Poisson captif de l'expérience I^re^, qui subit passivement la pression extérieure et prend un volume d'autant plus petit que cette pression est plus grande. Le Poisson qui descend subit donc passivement la pression croissante; il ne prend jamais un volume plus petit pour favoriser par sa densité augmentée l'action de ses nageoires qui le font descendre. Cela est prouvé par la régularité du tracé que donne son volume, tracé dont les ordonnées correspondent exactement à ces pressions qu'il subit à chaque instant en descendant; et à défaut des tracés, par la situation de l'index qui recule avec une vitesse correspondant à la vitesse de la descente, et progresse pareillement avec une vitesse correspondant à la vitesse de l'ascension, ce que l'observateur constate directement avec la plus grande facilité. Si le Poisson comprimait la vessie natatoire pour descendre, on observerait nécessairement une diminution de volume qui serait maximum au début, et irait en diminuant pour devenir nulle au moment de l'arrivée; et réciproquement, s'il distendait sa vessie natatoire pour monter, on observerait une dilatation maximum au début, et minimum à la fin de l'ascension. Or il n'en est rien.

J'ai répété avec un résultat constamment le même ces expé-

riences sur des Poissons d'espèces très-variées, pourvus de vessie natatoire, sans en avoir rencontré jamais qui fissent exception.

Parmi les genres que j'ai le plus souvent soumis à ces expériences, je cite les Perches, les Labres, les Cyprins, les Grondins.

Ces expériences autorisent à conclure que chez toutes ces espèces la vessie natatoire n'est point comprimée ni dilatée par le Poisson dans les mouvements de descente ou d'ascension.

L'expérience II montre que le Poisson subit passivement la pression extérieure pendant toute la durée de l'ascension et de la descente. De plus, quand le jeu de ses nageoires a achevé ces deux genres de progression, et que le Poisson s'arrête ou qu'il continue à se mouvoir en restant dans un plan horizontal, cette expérience montre qu'il conserve le volume acquis, celui que lui impose la pression nouvelle; jamais il ne rétablit par un effort musculaire le volume primitif, ni par conséquent la densité qu'il avait.

Les expériences toujours concordantes ont été faites sur toutes les espèces de Poissons que j'ai pu me procurer vivants, soit dans les eaux douces de Paris, soit dans l'aquarium de Concarneau, en Bretagne.

La réponse à la première question est donc absolument négative. Le Poisson n'agit en aucune façon avec ses muscles pour modifier au profit de la locomotion le volume qu'il possède, non plus que pour corriger l'effet de la pression extérieure dans les changements de niveau.

On se ferait une idée très-fausse du rôle de la vessie natatoire comme appareil hydrostatique, si l'on se bornait aux solutions négatives que je viens de formuler. En effet, l'expérience VI, dans laquelle un Poisson qui a séjourné plusieurs jours à 8 mètres de profondeur est amené à la surface de l'eau et présente une densité plus faible que celle de l'eau (ce que l'on reconnaît à la saillie de la nageoire dorsale hors de l'eau pendant le repos), et qui reprend peu à peu par l'absorption de l'air la densité de l'eau en restant à cette pression, montre un travail incessant d'absorption de l'excès du gaz que

le Poisson possède quand il s'est équilibré pour vivre à une pression plus grande. Cette expérience VI montre de plus que le Poisson pris à la surface subit, quand il est maintenu à un niveau plus profond, un travail de formation de gaz qui tend à lui donner la densité de l'eau à la profondeur où il est maintenu.

Le rôle actif de la vessie natatoire consiste donc dans un travail incessant d'absorption du gaz en excès pour le Poisson qui a quitté un niveau plus profond pour un niveau plus superficiel, et dans un travail incessant de formation du gaz pour le Poisson qui a quitté un niveau superficiel pour un plus profond.

Grâce à cette activité incessante, le Poisson en équilibre à un certain niveau et possédant la densité de l'eau, peut se déplacer verticalement et se rétablir en équilibre à un autre plan.

Le Poisson possède ainsi la faculté d'avoir exactement la densité de l'eau à toutes les profondeurs. De tout temps on a pensé que tel devait être le rôle de la vessie natatoire; mais on a toujours admis plus ou moins explicitement que l'élément musculaire intervenait par sa contractilité pour favoriser les mouvements en changeant la densité ou pour rétablir le volume modifié et altéré par les changements de pression. On voit que ce n'est pas par une activité musculaire, mais par un travail physiologique d'absorption ou de formation de gaz que ce but est atteint. On voit qu'il n'est pas atteint d'une manière rapide, instantanée, comme il le serait par l'action des muscles si elle se produisait, mais avec une lenteur plus ou moins grande suivant le développement des organes d'absorption et de sécrétion.

Cette adaptation de la densité du Poisson à la densité de l'eau qui se refait ainsi à chaque changement de niveau, puisque la pression nouvelle modifie le volume normal, cette adaptation se fait donc par deux opérations physiologiques qui exigent un temps considérable comparé au temps que met le Poisson à changer de niveau; il en résulte pour le Poisson qui monte ou descend une gêne et même un danger, puisqu'il subit une densité d'autant plus différente de la densité de l'eau, que la distance verticale parcourue depuis le plan d'équilibre est plus grande.

Comparons le Poisson privé et le Poisson pourvu de vessie natatoire. Le rôle hydrostatique de l'organe sortira plus manifeste de cette comparaison. Celui qui n'a pas de vessie natatoire possède normalement, comme il résulte des expériences de Delaroche, une densité toujours supérieure à celle de l'eau. Il n'est jamais en équilibre dans l'eau, il a toujours des efforts de nageoires à faire pour ne pas tomber au fond. Là seulement il peut se reposer : la forme aplatie, si commune parmi ces éspèces, les Squales, les Raies, les Soles, etc., l'indique, et c'est ce que confirme l'observation. Le Poisson qui a une vessie natatoire trouvera toujours, quand la profondeur de l'eau et la pression extérieure de l'air ne lui feront pas défaut, un plan où il possédera exactement la densité de l'eau.

Au-dessus de ce plan il prend une densité plus faible que celle de l'eau, et peut, comme nous le voyons parfois chez nos Poissons d'eau douce, venir se reposer à la surface, avec une fraction de la nageoire dorsale dans l'atmosphère.

Au-dessous de ce plan il devient plus dense que l'eau et peut s'appuyer sur le sol résistant ; mais la forme carénée, très-commune chez eux, les oblige alors à s'incliner gauchement et montre qu'ils sont faits pour demeurer au sein du milieu mobile.

La faculté de proportionner la quantité de gaz à la hauteur à laquelle il se tient, montre que le Poisson muni de vessie natatoire peut vivre à toutes les hauteurs de la mer et les choisir suivant ses besoins, à la condition qu'il passera lentement de l'une à l'autre. Il lui est interdit de franchir rapidement une distance verticale un peu considérable, car il subit dans ce passage rapide un changement de densité qui peut lui être fatal.

Au point de vue de la station dans l'eau, la vessie natatoire constitue une supériorité pour le Poisson qui la possède, mais au point de vue des déplacements rapides mesurés sur une verticale, elle constitue une infériorité et même un danger.

Comme tout ce qui existe dans la nature, l'organe doit être vu dans certaines conditions qui, réalisées, le constituent dans un état d'harmonie que nous apprenons à comprendre. Or, le Poisson qui a une vessie natatoire et que l'on considère dans ce

plan spécial que l'on peut appeler le plan des moindres efforts, possède un équilibre et une liberté de mouvements qu'aucun animal terrestre et même qu'aucun Oiseau ne peut posséder. C'est dans ce plan que le Poisson est plus parfait que les Poissons sans vessie natatoire.

Du plan des moindres efforts.

Le plan d'équilibre peut être appelé justement le plan des moindres efforts. Le Poisson est naturellement amené à se tenir dans ce plan; s'il s'en écarte, il éprouve une fatigue croissante, qui augmente en raison de cet écart, comme augmente la différence de sa densité avec la densité de l'eau; le sentiment de la fatigue le ramène donc au plan où il trouve les meilleures conditions pour nager sans subir de poussée verticale et pour se tenir dans un repos presque parfait.

Si la nécessité de vivre le maintient hors du plan d'équilibre, il subit un travail par lequel la nouvelle quantité de gaz (positive ou négative) nécessaire à son équilibre sous la pression nouvelle lui est acquise. Il n'a pas regagné le plan primitif, mais il s'est modifié de façon à faire du plan actuel le plan d'équilibre ou des moindres efforts. Le plan d'équilibre n'est donc pas fixe.

Le plan horizontal dans lequel le Poisson a la densité de l'eau est en même temps celui dans lequel il a son volume normal et sa forme normale. Les changements de volume dus à des changements de pression trop rapides pour permettre à la fonction physiologique d'absorption ou de formation de gaz de s'accomplir méritent de nous arrêter.

Considérons, pour poser le problème dans toute sa simplicité, des Poissons à vessie close et bien extensible, comme est celle du *Trigla Lyra*.

Supposons le Poisson dans le plan d'équilibre. Si à l'aide de ses nageoires il s'élève, l'air intérieur subira une pression de moins en moins grande et occupera un volume de plus en plus grand. Au contraire, si le Poisson descend au-dessous du plan d'équilibre, la pression qui augmente réduira de plus en plus le volume de la vessie natatoire. Il est intéressant de remarquer

que ce volume, quand le Poisson descend, tend vers zéro, et si l'on suppose des pressions considérables qui le fassent approcher de cette limite idéale, la densité du Poisson est relativement peu modifiée, en ce sens que la vessie natatoire n'est jamais qu'une fraction de volume du Poisson et parfois une fraction assez petite. Au contraire, si le Poisson s'élève, cette fraction de volume de Poisson grandissant toujours, il suffira, pour un Poisson placé à 100 mètres de profondeur et supportant onze fois la pression de l'atmosphère, de s'élever à la surface, où il ne supporte plus qu'une pression atmosphérique, pour subir une dilatation de l'organe égale à onze fois le volume de l'organe. Or, chez beaucoup de Poissons la vessie natatoire représente une fraction du volume total, qui est supérieure à la onzième partie de ce volume. Le Poisson aura donc plus que doublé de volume, en supposant que les parois se prêtent à cette ampliation. Dès lors la natation devient pour lui impossible ; il est fatalement la proie des Oiseaux de mer ou des Poissons qui, plus heureux que lui, ne viennent pas de la profondeur et nagent librement.

Sous une forme algébrique très-simple nous pouvons avoir des solutions plus précises.

Supposons le Poisson dans le plan d'équilibre.

Le volume de la vessie natatoire est alors normal ; il est tel que la densité du Poisson est égale à celle de l'eau. Appelons v ce volume, et voyons ce qu'il devient pour des pressions ajoutées ou enlevées, pressions prises égales à la pression atmosphérique et correspondant à une hauteur verticale de 10 mètres d'eau.

Si le plan d'équilibre supporte n pressions atmosphériques, une variation en moins et une variation en plus d'une pression atmosphérique donneront pour les volumes v' et v'' correspondants :

$$v' = \frac{n}{n-1}\, v, \quad v'' = \frac{n}{n+1} v;$$

en effet, v' ou $v'' : v :: n : n - 1$ ou $n + 1$.

Nous ferons remarquer que le nombre des pressions est toujours au moins égal à une atmosphère, puisqu'à la surface le Poisson supporte la pression de l'air lui-même.

Donnons des valeurs particulières. Dans le cas de l'ascension, $n-1$ devant être au moins égal à 1, n sera égal à 2 ou plus grand que 2, soit $n=2$; $n-1$ devient 1 $v'=2v$, c'est-à-dire que la souplesse de l'organe le permettant, le volume de la vessie natatoire sera double du volume normal quand le Poisson s'élèvera de 10 mètres à la surface.

Dans le cas où l'on fait descendre le Poisson, si on le considère d'abord à la surface, on doit faire $n=1$, $n+1$ devient 2 : $v''=\frac{1}{2}v$, c'est-à-dire que le Poisson qui avait, à la surface, une vessie natatoire d'un volume normal, en possède une, à la profondeur de 10 mètres, qui n'a plus que la moitié de ce volume.

On peut considérer des variations de pression de plusieurs atmosphères. Ces formules deviennent, en indiquant par la lettre a les pressions atmosphériques enlevées ou ajoutées :

$$v'=\frac{n}{n-a}v \quad \text{et } v''=\frac{n}{n+a}v.$$

Prenons un Poisson comme la Morue, habitant par exemple à 100 mètres de profondeur ; il supporte 10 fois 10 mètres d'eau plus une pression atmosphérique. Donc $n=11$; et supprimons 100 mètres, puis ajoutons 100 mètres :

$$v'=\frac{11}{11-10}v=11\,v, \quad v''=\frac{11}{11+10}v=\frac{11}{21}v.$$

C'est-à-dire que la vessie natatoire, dans le cas où le Poisson est amené à la surface, tend à devenir 11 fois plus volumineuse qu'elle n'était, et environ moitié de son volume dans le cas où le Poisson est enfoncé de la même distance verticale. En d'autres termes, le Poisson court beaucoup plus de danger en s'élevant au-dessus du plan d'équilibre qu'en s'enfonçant au-dessous de ce plan d'une même distance verticale.

Après avoir insisté, comme je viens de le faire, sur la variation de volume en rapport avec la pression extérieure, il convient de faire remarquer que si le Poisson subit ainsi passivement (sauf le cas d'ascension lorsqu'il possède un canal pour la sortie de l'air) l'influence de la pression extérieure, les variations de

densité qui en résultent sont souvent sans gravité pour lui, parce que la puissance musculaire de sa nageoire caudale, en particulier, lui donne une action capable de contre-balancer les différences de densité qui, dans les circonstances ordinaires, naissent pour lui de son éloignement du plan d'équilibre. On ne peut déterminer par le calcul la limite exacte qu'il peut atteindre, parce que cette limite varie non pas seulement avec sa densité, mais aussi avec son état de vigueur individuelle. Ce n'est donc qu'empiriquement que l'on peut voir, et d'une manière approximative, quelle est cette limite où il est vaincu et devient l'esclave de sa nouvelle densité. Quelques observations peuvent servir à indiquer approximativement ces limites et sanctionner les déductions mathématiques qui précèdent.

Si l'on place des Épinoches dans un bocal sous la machine pneumatique, on en voit quelques-uns résister plus longtemps que les autres à la même force ascensionnelle.

Les Morues prises par 100 mètres environ de profondeur et amenées avec la ligne à la surface de l'eau flottent, incapables de s'enfoncer de nouveau ; elles sont alors toutes vaincues.

J'extrais de la lettre d'un homme très-compétent dans toutes les questions de pêche, M. Étienne Guillou, maître pilote à Concarneau, les détails suivants propres à donner d'une manière approchée l'idée de cette limite dangereuse pour le Poisson. Je dois dire que j'avais demandé la profondeur de la mer dans un lieu où j'avais pêché le *Gadus barbatus*, et constaté que tous les individus amenés à la surface par ma ligne présentaient une rupture de la vessie natatoire avec épanchement de l'air dans l'abdomen distendu.

« .... L'endroit où vous avez pêché les Tacauds (*Gadus barbatus*) varie de 4 à 7 brasses de profondeur : par ces fonds, » quand on pêche un Tacaud, si on le rejette à la mer, il a de » la peine à retourner au fond par la dilatation de la vessie ; mais » si on le pêche par 25 ou 30 brasses, il est impossible qu'il » puisse s'enfoncer, il reste et meurt sur l'eau, où il est dévoré » par les Goëlands. Souvent les Poissons se décrochent à moitié » chemin ; ils ont alors le même sort, entraînés à la surface par

» la dilatation de la vessie. Il en est de même pour toute la » famille que nous nommons les Vieilles (*Labrus*).

» Les Grondins ont, il paraît, moins de vessie; ils marchent » avec leurs pattes sur le fond, et amenés à la surface ils s'en- » foncent plus facilement, quoique leur vessie se dilate un peu. » Les Congres ont une vessie qui communique avec la bouche, » et rejettent à volonté l'air, mais il paraît que la douleur leur » fait oublier cet appareil, car ils viennent mourir sur l'eau » quand ils sont blessés. Dans les bateaux viviers du Nord, quand » on pêche des Morues par de grandes profondeurs, on emploie » un outil de fer en forme de paille pour diminuer le volume » de la vessie..... »

Aux observations si intéressantes de M. Étienne Guillou je joindrai l'expérience suivante :

J'avais soumis une Tanche à l'action de la machine pneumatique; elle avait perdu une petite quantité d'air. Au bout de huit à dix jours je la plaçai dans un aquarium à parois transparentes; elle nageait facilement, ayant reformé le gaz perdu. Cette Tanche, disposée au sommeil, s'arrêtait dans un plan toujours le même, situé à 8 centimètres au-dessous de la surface de l'eau. Là elle cessait presque absolument ses mouvements et paraissait céder au sommeil, puis, comme doucement entraînée, elle cédait presque sans lutter, ne faisant que de rares mouvements de nageoires et s'éloignait du plan d'équilibre avec une vitesse très-faible, mais croissante, pour s'arrêter encore endormie et semblable à un ludion, à la surface ou au fond, suivant qu'elle avait été portée au-dessus ou au-dessous du plan horizontal d'équilibre. Quand elle demeurait à la surface, c'était toujours avec une petite frange de nageoires émergeant, comme on conçoit qu'il doit arriver.

Cette Tanche rappelle le Bar dont j'ai parlé, qui, amené de 8 mètres de profondeur, ne se reposait à la surface qu'avec une partie notable du dos hors de l'eau; mais tandis que le plan d'équilibre pour ce Bar était à 8 mètres au-dessous de la surface, il était, pour la Tanche, à 8 centimètres.

Les considérations qui précèdent me conduisent à dire que

la densité du Poisson muni de vessie natatoire doit être considérée comme précisément égale à la densité de l'eau; mais il faut ici ajouter une remarque importante, c'est que si on la mesure à la pression normale, c'est-à-dire à la pression atmosphérique, les Poissons tirés de la profondeur où ils subissaient une pression considérable arrivent dilatés, offrant une densité plus faible que celle de l'eau : c'est donc dans le plan qu'ils occupent qu'ils offrent la densité de l'eau.

On trouve aussi plus légers que l'eau des Poissons vivants près de la surface, comme sont souvent les Poissons d'eau douce. On peut déterminer leur plan d'équilibre de la manière suivante :

Le Poisson est endormi dans une eau éthérée, puis il est enfoncé dans un vase profond. On rencontre un plan au-dessous duquel il tombe au fond, et au-dessus duquel il remonte de lui-même à la surface. On peut aussi opérer avec un appareil où il est tenu enfermé, et qui, sans lui, possède la densité de l'eau, et enfoncer cet appareil jusqu'à ce qu'il tombe; à ce niveau est le plan d'équilibre du Poisson.

Ces déterminations donnent pour le plan d'équilibre des profondeurs qui varient pour les différents individus, et sont pour cela de peu d'importance; mais je dois ajouter que l'on rencontre dans les eaux peu profondes des Poissons munis de vessie natatoire et qui sont cependant plus denses que l'eau. Il n'y a pas lieu à chercher pour eux un plan d'équilibre, ce plan n'existe pas : on ne pourrait le rencontrer qu'en portant le Poisson sur les montagnes, où l'eau ne supporte plus qu'une pression atmosphérique suffisamment diminuée; mais à l'aide de la machine pneumatique on peut réaliser une pression extérieure qui donne à ce Poisson la densité de l'eau.

Les Poissons que j'ai soumis à l'asphyxie ont offert, dans l'air de leur vessie natatoire, une diminution d'oxygène et une diminution de la quantité absolue de l'air; ils sont devenus plus denses. J'ai remarqué que les Poissons malades consommaient aussi l'oxygène de leur vessie natatoire et devenaient plus denses.

Je suis ainsi amené à considérer le Poisson qui, muni de vessie natatoire, ne possède pas la densité de l'eau, comme un Poisson qui n'est point dans l'état de santé parfait. Cette densité supérieure à celle de l'eau se rencontrera, on le comprend, d'autant plus rarement que le Poisson sera pris plus loin de la surface; et comme on constate que par leurs puissances musculaires les Poissons se transportent facilement au-dessus et au-dessous de leur plan d'équilibre à des distances de ce plan assez grandes, on conçoit qu'un Poisson qui, pour une cause ou une autre, possède à la surface une densité supérieure à celle de l'eau, n'est point pour cela privé de la faculté de se mouvoir dans son élément; et nous conservons donc comme une notion juste celle de la densité du Poisson muni de vessie natatoire comme égale à la densité de l'eau, en tenant toujours compte de la variabilité de ce plan suivant la quantité de gaz actuellement possédée.

Dans tout ce qui précède relativement aux changements de volume d'un Poisson muni de vessie natatoire, on a supposé qu'il se transportait ou qu'il était transporté rapidement d'un niveau à un autre.

Si nous faisons une supposition opposée, si nous considérons un Poisson qui se transporte en faisant avec le plan horizontal un angle suffisamment petit, la lenteur de son déplacement vertical permettra aux fonctions physiologiques d'absorption de gaz en excès ou de formation de gaz nouveau de s'accomplir; il pourra se transporter des profondeurs de la mer à la surface, et réciproquement, sans avoir jamais cessé de posséder une densité très-voisine de celle de l'eau, et en même temps son volume normal. Cette conception théorique, de même que celles que j'ai formulées plus haut, n'est pas contredite par les faits.

J'ai vu pêcher, dans la baie de la Forêt, près de Concarneau, une Morue (*Gadus Morrhua*), espèce rare dans ces parages, et identique à celle de Terre-Neuve. Ce Poisson, conservé vivant dans les bassins de l'aquarium et qui avait été pris près de la surface, nageait avec la facilité de ceux qui appartiennent aux couches superficielles. On est conduit à admettre qu'il a pu

venir de Terre-Neuve, où il vit à de grandes profondeurs en suivant une direction presque horizontale ; il évitait ainsi le danger de la dilatation, et donnait ainsi amplement à l'absorption du gaz en excès le temps de se produire à la surface de sa vessie natatoire, qui est tout à fait close.

OPINIONS ET THÉORIES DES AUTEURS.

Les expériences que j'ai données ont montré que la quantité de gaz varie avec la pression, que le travail de formation ou d'absorption est incessant, qu'il se fait avec une lenteur considérable, comparée à la durée instantanée des contractions musculaires invoquées dans les théories proposées sur ce sujet ; elles ont montré aussi que les muscles ne modifient pas le volume de l'organe dans les conditions habituelles. Ces deux résultats désormais acquis, j'ai pu formuler des conclusions avec cette réserve que telle espèce de Poisson qui ne s'est point rencontrée parmi les nombreuses que j'ai soumises à l'expérimentation peut se trouver, dans la nature, offrant une organisation différente et s'écartant plus ou moins, dans la fonction d'équilibration, de la manière d'être de nos Poissons.

Ainsi, par exemple, on trouve dans J. Müller, *Beobachtungen über die Schwimmblase der Fische, mit Bezug auf einige neuen Fischgattungen* (*Archives*, 1842, p. 319) : « Toute particulière » est l'organisation que j'ai découverte chez plusieurs espèces » de Poissons fluviatiles chez lesquels la condensation et la raré» faction sont placées sous l'action de deux forces puissantes et » opposées, de telle façon que la condensation résulte de l'élas» ticité d'un ressort, tandis que la raréfaction dépend de l'action » et de la persistance d'une puissance vitale musculaire qui » annihile l'action du ressort. »

« .... Ces Poissons s'élèveront à la surface par l'action mus» culaire, à l'inverse de ce qui a lieu chez la plupart des Pois» sons...

» Ce sont les genres *Auchenipterus*, *Synodontis*, *Melapte» rurus* et *Evanemus*. »

Ces lignes intéressantes de Müller ont rapport à des espèces

que je n'ai jamais eu l'occasion de voir vivantes, ni même de disséquer. Elles invitent à des recherches physiologiques; car c'est une bonne règle à suivre que de ne pas déduire la fonction de la connaissance pure et simple de l'anatomie. Ainsi, sans rien préjuger dans cette question, je rappellerai que les muscles puissants intrinsèques de la vessie natatoire des Grondins pouvaient bien être supposés actifs dans la fonction admise de la condensation de l'air intérieur par action musculaire. Or, il est arrivé qu'en faisant sur ces Poissons les expériences décrites pour juger ce point, j'ai vu qu'ils n'agissaient en aucune façon. Je l'ai constaté directement, et j'ai fixé dans plusieurs tracés la variation de volume de ce Poisson quand il s'élève ou qu'il descend; j'ai toujours trouvé cette variation en rapport avec la pression extérieure, jamais avec une contraction de la vessie. Je veux dire par là que c'est à l'expérimentateur à juger, par rapport aux Poissons dont parle Müller et à ceux qui peuvent se rencontrer encore, la question de l'activité de la vessie natatoire dans la locomotion, question que je résous par la négative pour toutes les espèces que j'ai eues à ma disposition.

Les deux résultats rappelés plus haut étant acquis, je vais pouvoir examiner les opinions des auteurs sûr ce sujet.

Il n'est pas rare de rencontrer, avant que les preuves soient données, un sentiment juste, une intuition de la vérité dans les écrits des auteurs; mais telle est la marche des sciences expérimentales, que les idées les plus justes fussent-elles émises par les hommes les plus considérables, ne doivent être réellement et définitivement admises que la preuve une fois faite.

Si donc il se rencontre dans l'histoire de ces opinions un sentiment exact de la vérité, le travail expérimental que je donne conserve encore son à-propos, comme justifiant et prouvant ce qui n'était qu'une croyance et une intuition; néanmoins, comme on va le voir, il y a une remarquable concordance parmi les auteurs qui ont parlé du rôle de la vessie natatoire, et l'opinion exprimée par eux est celle que je combats.

Borelli admet, comme le prouvent les extraits cités plus bas, une contraction musculaire pour augmenter la densité du

Poisson quand il descend, et il admet, quand le Poisson monte, un relâchement des muscles qui dans l'état ordinaire exercent une certaine pression moyenne, relâchement qui permet l'expansion de l'air intérieur et diminue la densité.

Les expériences II et III montrent que ces deux suppositions sont fausses.

Borelli admet aussi que le Poisson est toujours en équilibre, qu'il se repose à toutes les profondeurs, ayant toujours la densité de l'eau.

Les expériences II et III montrent encore que cette supposition est fausse toutes les fois qu'il passe rapidement d'une profondeur à une autre.

Il n'en est pas moins vrai que Borelli était parfaitement engagé dans la voie scientifique, qu'il cherchait à rapporter à des conditions physiques les phénomènes de l'organisme; que son sentiment était juste à certains égards, et ainsi qu'il avait, comme par intuition, vu que le Poisson muni de vessie natatoire devait être en équilibre à toutes les hauteurs. Nous avons vu que le Poisson arrive à posséder cet équilibre, mais avec le temps et par un moyen tout différent de l'action musculaire.

Les expériences du chapitre IV montrent que cet équilibre parfait, je veux dire cette identité entre la densité du Poisson et la densité de l'eau, existe plutôt en puissance qu'en réalité; qu'il y a, par le travail incessant qui s'effectue dans les parois de la vessie natatoire, une diminution de la densité du Poisson quand elle est trop forte, une augmentation quand elle est trop faible, et que le Poisson n'est en parfait équilibre qu'au moment où il traverse dans ses évolutions le plan mathématique où la pression extérieure et la quantité actuelle d'air qu'il possède dans sa vessie natatoire lui donnent précisément la densité de l'eau.

Borelli (*De motu animalium*, Lugduni Batavorum, 1685) dit, pr. CCX, *Cogita modo piscem esse machinam :* « .... Le » Poisson est une machine semblable à un cylindre, et contient » dans son abdomen une vessie pleine d'air qui, dans l'état

» moyen, est assez comprimée pour rendre sa densité exacte-
» ment égale à celle de l'eau qui l'environne, en sorte que le
» Poisson immergé peut rester absolument immobile. Mais s'il
» veut devenir plus léger, de façon que sa machine s'élève
» d'elle-même, il faut qu'il relâche ses muscles pour permettre
» à l'air d'obéir à sa force élastique et de se dilater; au con-
» traire, s'il veut qu'elle devienne plus lourde et qu'elle des-
» cende d'elle-même au fond, il est nécessaire qu'il contracte sa
» vessie aérienne à l'aide de ses muscles abdominaux pour
» n'occuper qu'un volume plus petit. »

Pr. CCIX (*Certum est ex Archimede quod...*) : « Il est établi
» par Archimède qu'aucun corps plongé au-dessous de la sur-
» face de l'eau, et qui n'appuie pas sur le fond, ne peut rester
» immobile, à moins d'avoir la même densité que l'eau, si la
» masse de son corps n'est pas égale en poids à une égale masse
» du liquide; et comme nous voyons que les Poissons, à quel-
» que profondeur qu'ils soient placés, reposent immobiles et
» sans aucun effort ni impulsion de la queue ou des nageoires,
» il faut reconnaître qu'ils ont exactement la même densité
» que l'eau. »

Je passe à des citations d'auteurs contemporains.

Biot (*Mémoires de la Société d'Arcueil*, t. I^er^, p. 253) dit :
« On sait que beaucoup de Poissons contiennent dans l'intérieur
» de leur corps une vessie remplie de gaz et que l'on nomme
» vessie natatoire. Elle leur sert pour monter et descendre dans
» l'eau, parce que, selon qu'ils dilatent cet air ou qu'ils le
» compriment, leur pesanteur spécifique diminue ou aug-
» mente. »

L'attention des savants n'avait pas été encore fortement appelée sur les phénomènes de la contraction musculaire, sur la fatigue que le travail musculaire engendre, et par conséquent sur l'invraisemblance d'efforts aussi prolongés et aussi énergiques que ceux que suppose la théorie traditionnelle. J'ai eu l'occasion de rappeler les travaux de Biot sur la nature chimique de l'air de la vessie natatoire, et de montrer que les résultats qu'il a signalés avaient été à tort mis en doute (voy. *Comptes*

rendus de l'Académie des sciences, t. LXXIX, p. 1134). Biot ici accepte une idée reçue : c'est l'idée traditionnelle déjà formulée par Borelli et à laquelle répond l'expérience II.

Delaroche (*Annales du Muséum d'histoire naturelle*, 1809, p. 262, *Observations sur la vessie aérienne des Poissons*) dit : « Les muscles propres qui sont fixés aux parois de la vessie » natatoire dans un grand nombre d'espèces ont probable- » ment pour usage de comprimer plus ou moins fortement le gaz » qu'elle renferme, non, comme le supposent ceux qui ont » adopté l'hypothèse de Borelli, pour changer la pesanteur » spécifique du Poisson, mais au contraire pour le maintenir » toujours au même point. Les Poissons ne peuvent s'élever » ou s'abaisser sans que la pression exercée sur eux par le poids » de l'eau qui les recouvre diminue ou augmente, et, par » conséquent, sans que le gaz renfermé dans leur vessie tende » à se dilater ou à se condenser; il faut, pour que leur pesan- » teur spécifique ne varie pas, qu'il y ait une cause toujours » agissante qui empêche cette condensation et cette dilatation. » Telle paraît être la fonction des muscles propres de la vessie. »

L'expérience II montre que le volume modifié par la pression après l'ascension ou après la descente n'est point ramené à son état primitif par l'action des muscles. Je ne puis m'empêcher de remarquer ici que si Delaroche accepte une manière de voir que les faits ne justifient pas, cependant il fait une supposition qui devait être faite, une supposition aussi légitime que celle de l'action musculaire favorisant la descente ou l'ascension par un changement de volume convenable. Je le dis ici parce qu'on verra plus loin que cette idée de Delaroche a été plusieurs fois critiquée; elle était juste cependant, et les faits que l'expérience VI apporte le montrent, en ce sens que le volume modifié par la pression tend réellement à redevenir normal; il y arrive par un mécanisme particulier, celui de la quantité du gaz devenant proportionnelle à la pression, et non par le jeu des muscles, mais il y arrive.

Cuvier (*Annales du Muséum*, 1809, *Rapport fait à la classe des sciences physiques et mathématiques sur le mémoire de*

M. Delaroche relatif à la vessie aérienne des Poissons. — Commissaires : MM. Lacépède, Vauquelin ; Cuvier, rapporteur) dit page 181 : « Aussi croyons-nous qu'il n'y a que la troisième et » principale partie de l'opinion commune qui résolve réellement » le problème : c'est celle qui dit que la vessie est là pour aider le » Poisson à s'abaisser et à s'élever, selon qu'elle est comprimée » et dilatée, et nous avouons que nous ne voyons pas pourquoi » M. Delaroche rejette cet emploi. » Et page 183 : « Ainsi nous » croyons devoir nous en tenir aux idées de Borelli sur l'emploi » de la vessie aérienne des Poissons. »

La réponse expérimentale que nous avons faite aux idées de Borelli est celle qui convient ici.

J. Müller (*Untersuchungen über die Eingeweide der Fische*, Berlin, 1845 : *Anhang, Erlauterung zu der Abhandlung über die Schwimmblase betreffend die Statik der Fische*, p. 54; *Es reicht also bei einem mit der Schwimmblase*) dit : « Chez le Poisson » muni d'une vessie natatoire, il se produit une contraction » énergique de cette vessie, soit à l'aide de ses muscles propres, » soit, quand il n'en possède pas, à l'aide des muscles des parois » abdominales, pour faire enfoncer le Poisson, et inversement. »

On voit encore ici l'opinion de Borelli reproduite. J'ai répondu en citant Borelli.

Stannius (*Anatomie der Wirbelthiere*, p. 220, Berlin, 1854, *Die Schwimmblase ist*) dit : « La vessie natatoire est un organe » dont le rôle physiologique dans l'organisme du Poisson con- » siste dans une formation gazeuse dont la compression ou l'ex- » pansion volontaire ou involontaire peut avoir pour consé- » quence un changement dans la densité de l'animal ou un » déplacement du centre de gravité. »

Je parlerai, dans le chapitre VI, de la question du déplacement du centre de gravité que je considère comme pouvant être tout à fait distinguée de la question hydrostatique proprement dite, non pas seulement en ce sens qu'elle n'a été posée que relativement aux espèces qui ont une vessie natatoire formée de deux poches distinctes, mais parce que la contraction qui refoule l'air extérieur d'une portion de l'organe dans l'autre n'implique

pas pour cela un changement dans le volume et la densité. Stannius admet, avec réserve cependant, la fonction que Borelli admettait; Stannius admet la possibilité d'une action mécanique, c'est-à-dire l'opinion commune à laquelle il a été déjà répondu.

Richard Owen (*Anatomy of Vertebrates*, vol. I, p. 497, London, 1866 : *Viewing the...*) dit : « Quant aux variations et » aux usages de la vessie natatoire considérée dans la classe des » Poissons, nous devons, malgré quelques variétés capri- » cieuses, reconnaître et admettre que sa fonction principale et » la plus générale est une fonction mécanique et qu'elle sert à » régulariser la densité du Poisson, qu'elle l'aide à se main- » tenir à un niveau choisi dans l'eau et à plonger ou à s'élever, » suivant l'occasion. »

Admettre que l'organe sert au Poisson à plonger ou à s'élever c'est accepter l'opinion commune, que nous n'avons pas à réfuter de nouveau.

Daguin (*Traité de physique*, t. I^er^, p. 163, Paris-Toulouse, 1868) dit : « Le principe d'Archimède sert encore à expliquer » le mécanisme au moyen duquel les Poissons descendent ou » s'élèvent à volonté dans l'eau. Ces animaux possèdent une » vessie natatoire, espèce de sac membraneux rempli de gaz » et placé à la partie supérieure de l'abdomen. En comprimant » plus ou moins ce sac par le mouvement des côtes, le Poisson » déplace plus ou moins d'eau sans changer de poids, et monte » ou descend à volonté. Les Poissons qui rampent au fond des » eaux n'ont pas de vessie natatoire ou n'en ont qu'une très- » petite. »

La compression est ici, comme toujours, invoquée pour donner le volume favorable qui aide les puissances de la locomotion; mais l'expérience II montre qu'elle n'est pas mise en jeu.

Gouriet (*Annales des sciences naturelles*, 1866, p. 369) extrait le passage suivant des *Comptes rendus de l'Académie des sciences*, 1863, t. LVII, p. 817 : « M. Moreau dit que » lorsque la vessie a été vidée, le Poisson reste au fond du

» vase où le retient sa densité augmentée, rampe plutôt qu'il » ne nage, etc..., et qu'il commence à nager plus facilement » dès que la vessie natatoire s'est remplie d'un air nouveau. » A cette citation (p. 374 et 378) M. Gouriet ajoute : « Or, j'ai » vu (combien de fois ! ! !) des Poissons venir à la surface immé- » diatement après l'opération par le trocart. D'ailleurs, com- » ment se fait-il que la Tanche et les autres Poissons descen- » dent si bien et montent si bien après qu'on leur a enlevé la » vessie? On ne dira pas que le gaz a pu se reformer : l'organe » sécréteur n'y était plus. »

Les faits que m'oppose M.. Gouriet, savoir : qu'il a vu des Tanches auxquelles il avait enlevé l'air de la vessie natatoire avec un trocart, et d'autres auxquelles il avait enlevé la vessie natatoire elle-même, nager facilement et venir à la surface, — ces faits, je les admets, ils ont été bien vus par M. Gouriet.

Il s'agit de trouver une interprétation qui les concilie avec les miens, car tout le monde acceptera le fait que j'ai avancé, savoir : que la Tanche augmente de densité quand elle a perdu l'air de la vessie natatoire, et qu'elle est retenue au fond de l'eau par sa densité augmentée.

Comme il ne faut pas, dans des sujets que l'expérience éclaire, accepter rien sans preuve, je donne ici les moyens de s'assurer et du fait de l'augmentation de la densité, et du fait de la difficulté de remonter à la surface.

D'abord, pour l'augmentation de densité, il suffit de placer la Tanche dans un appareil tel que celui de la figure 3, avec le densimètre (fig. 11), et de provoquer la sortie de l'air à l'aide du vide fait sur le bocal. Une fois que la pression atmosphérique sera rétablie, la tige du densimètre sera enfoncée et accusera l'augmentation de densité.

Ensuite, pour la difficulté de remonter à la surface, il suffit de pousser un peu loin l'action du vide pour voir que la Tanche, subissant ensuite la pression atmosphérique, a le corps comprimé, offre même une sorte de gouttière suivant la ligne ventrale et due à l'enfoncement des tissus dans la cavité en partie vidée. Si l'aquarium a seulement 50 centimètres de profondeur,

on verra les efforts pénibles et souvent impuissants du Poisson voulant s'élever à la surface.

Dans l'expérimentation le moindre détail peut avoir de l'importance. La ponction avec le trocart ne vide pas aussi sûrement l'organe que le fait la machine pneumatique. Il serait bon, quand on veut enlever beaucoup d'air par la ponction, de pratiquer en même temps la compression; cela n'a sans doute pas été fait par M. Gouriet.

L'ablation de la vessie natatoire a un défaut plus grave, elle est faite sur le Poisson hors de l'eau, et pendant l'opération l'air atmosphérique entre par la plaie et remplit l'espace laissé vide par la vessie. Si l'on fait ensuite une suture, on emprisonne l'air, et le Poisson peut demeurer très-léger. Les moyens de natation qu'il possède, la queue, les nageoires, suffisent pour le faire monter à la surface. Il est moins dense que le Poisson auquel on a soustrait l'air de la vessie à l'aide du vide fait à l'extérieur.

J'ai fait l'expérience de l'ablation de la vessie, et j'ai vu chez le Poisson, une sorte de violence à vouloir sortir de l'eau. La Tanche ne se contentait pas de venir à la surface, elle s'élançait même hors de l'eau.

Peut-être est-ce à la douleur de l'opération qu'il faut rapporter cet état violent que je n'ai jamais rencontré chez les Tanches soumises à l'action du vide. On peut, en recousant la plaie comme je l'ai fait, obtenir des Tanches plus ou moins denses, en rapprochant les lèvres de la plaie tout en comprimant le Poisson, ou en les rapprochant et faisant la suture sans exercer de compression. Les expériences de M. Gouriet (expér. I, II, III) peuvent servir à prouver que le Poisson muni de vessie natatoire peut bien nager encore sans le secours de cet organe, mais elles ne prouvent pas que la Tanche soumise à l'action du vide ne reste pas alourdie et même rampant au fond des bassins.

L'idée juste exprimée par M. Gouriet de la passiveté de l'organe est dans son travail une opinion dénuée de preuves : le fait du Poisson qui, retiré de la profondeur, arrive distendu par l'air, fait qui vient à l'appui de la passiveté de l'organe, ne doit pas être rejeté; ce fait est d'ailleurs, comme je

l'ai dit plus haut, insuffisant pour établir que la vessie natatoire est toujours passive.

On verra par les citations qui suivent, que c'est, chose rare, le respect des maîtres qui a égaré M. Gouriet. Ma réponse, qui s'adresserait autant à Cuvier et à Valenciennes qu'à l'auteur lui-même, est contenue dans tout ce travail. Le lecteur trouverait superflue une réfutation ici reproduite.

Voici le passage de M. Gouriet, p. 381, *loc. cit.* :

« Ce n'est point parce qu'il presse ou dilate sa vessie que le » Poisson descend ou monte, c'est plutôt parce qu'il descend » ou monte que sa vessie se trouve pressée ou dilatée. Loin de » présider à l'exécution de ses mouvements, elle obéit en esclave » aux conditions hydrostatiques auxquelles elle se trouve sou- » mise ; mais dans ce rôle moins pompeux que celui qui avait » été assigné par la riche imagination de Borelli, elle rend » encore au Poisson les plus grands services en assumant peut- » être sur elle la majeure partie des pressions qu'auraient à » supporter les viscères, et à coup sûr en faisant perdre au » Poisson, mais d'une manière passive, une quantité de plus » en plus grande dans son poids à mesure qu'il veut monter, ou » de plus en plus faible à mesure qu'il veut descendre.

» On peut objecter, d'après Biot, que la vessie éclate quand le » Poisson passe avec trop de rapidité des profondeurs à la sur- » face ; mais il y a plus de quarante ans que Valenciennes, attri- » buant le rejet des viscères à une autre cause, a démontré le » peu de fondement de cette prétendue rupture, qui ne con- » tinue pas moins à trouver crédit dans la science. Delaroche, » qui y a ajouté foi, s'est trouvé conduit à une théorie bien » moins admissible encore que ne l'est celle de Borelli.

» Je me résume en peu de mots.

» La vessie natatoire n'est qu'un organe adjuvant dans l'acte » de la natation. Son volume varie à chaque instant lors de la » progression de bas en haut, et *vice versâ ;* mais le Poisson n'a » pas besoin de se charger de ce soin, c'est la hauteur variable » de la colonne d'eau qui accomplit cet office.

» On sait en effet qu'en 1863, à l'étang de Saint-Gratien,

» Valenciennes, trouvant un grand nombre de Poissons morts qui » avaient l'estomac rejeté à l'extérieur, constata chez tous l'inté- » grité de la vessie natatoire, et en conclut que ce renversement » devait être attribué à une contraction spasmodique des viscères.

» Pour Delaroche, la vessie n'a pas d'autre usage bien con- » staté que celui de mettre la pesanteur spécifique des Poissons » en équilibre avec celle du milieu ambiant. Les muscles pro- » pres, et à leur défaut les parois de l'abdomen, sont chargés, » d'après cette hypothèse, de maintenir toujours cette pesanteur » spécifique au même point.

» Le Poisson descend-il, les agents compresseurs ralentissent » de plus en plus leur action; le Poisson s'élève-t-il, ils se con- » tractent sur la vessie dans le même rapport, afin d'éviter toute » chance de trop grande extension, voire même de rupture. » (Delaroche, p. 261 à 264.)

« Il paraît étrange, on en conviendra, que la vessie puisse » diminuer de volume à mesure que l'ascension s'opère; mais je » laisse la parole à Cuvier, qui a réduit cette explication à néant, » malgré sa croyance à la possibilité d'une rupture de la vessie : » Qui ne voit, dit-il avec infiniment d'esprit, que ce serait, de la » part de la nature, corriger assez maladroitement un défaut » qu'elle pouvait se passer d'introduire dans son ouvrage. Elle » n'avait qu'à ne pas donner de vessie du tout aux Poissons..., » alors elle n'aurait pas eu besoin non plus de cet appareil de » compression que l'on ne veut faire servir qu'à corriger les » inconvénients d'une vessie inutile. » (Rapport sur le mémoire cité, p. 181.)

Wundt, professeur à l'université de Heidelberg, 1871 (*Traité élémentaire de physique médicale*, traduit par Monnoyer, p. 119, *Équilibre et locomotion des Poissons*) : « Quand le Poisson veut » monter à la surface de l'air, il relâche les muscles qui compri- » ment sa vessie natatoire; celle-ci se dilate et augmente ainsi le » volume de l'animal; la compression de la vessie à air fait au con- » traire descendre le Poisson. » C'est l'opinion commune déjà réfutée.

P. Harting (*le Physomètre, nouvel instrument pour la déter-*

mination de volumes variables d'air ou d'autres corps, surtout de la vessie natatoire des Poissons, in *Archives néerlandaises*, t. VII, 1872). — Ce travail, dans lequel le problème hydrostatique est expérimentalement posé, me paraît constituer le principal effort fait depuis Borelli pour substituer aux opinions et aux théories dont la vraisemblance était le principal mérite, une solution dégagée de toute considération téléologique et d'un caractère purement scientifique. Les conclusions très-réservées du travail de M. Harting sont les seules qu'un esprit rigoureux pouvait tirer des faits qu'il possédait.

On trouve dans ce travail la description et la figure d'un appareil qui permet de mesurer le volume d'un Poisson qui, à l'aide d'un mécanisme particulier, est porté à différents niveaux, toujours captif dans une cage.

Dans la question que j'ai cherché à résoudre, il s'agit de voir si des actions synergiques se produisent dans la vessie natatoire; si le Poisson qui monte, descend, s'arrête, mettant en jeu, comme le Poisson qui n'a pas de vessie natatoire, sa queue et ses nageoires, modifie dans ces évolutions le volume de l'organe pour venir en aide aux organes communs de la locomotion?

J'ai considéré ces conditions physiologiques comme capitales, et j'ai passé sous silence les expériences que j'ai faites sur les variations de volume du Poisson captif dans une cage et tombant avec elle, parce que les résultats qu'elles donnent ne font que confirmer ceux qui sont obtenus sur le Poisson transporté par ses propres efforts et ne peuvent évidemment les suppléer.

L'expérience I^re^ m'a paru être une solution élégante de l'influence de la pression extérieure sur la densité du Poisson captif, c'est pourquoi je l'ai décrite.

Dans les expériences II et III, le Poisson est placé dans les conditions physiologiques essentielles ; il est assez à l'aise pour se mouvoir, monter, descendre sans toucher à un appui solide. C'est grâce à ces expériences que j'ai pu donner la solution du problème posé depuis si longtemps du rôle de la vessie natatoire dans la locomotion, de même que le rôle de l'organe dans la station m'a été tout à fait dévoilé par l'expérience VI, où je

compare les volumes d'un même Poisson qui séjourne dans la mer à différentes hauteurs.

CHAPITRE VI.

FONCTIONS DIVERSES DE LA VESSIE NATATOIRE. — DÉPLACEMENT DU CENTRE DE GRAVITÉ. — RESPIRATION. — PHONATION.

Après avoir traité de la fonction la plus générale, et sans doute la plus importante que remplit la vessie natatoire, il convient de dire qu'il n'existe peut-être aucun organe qui présente des variétés aussi nombreuses. On trouve décrites dans les auteurs, et l'on trouve dans les dissections que l'on pratique, des dispositions anatomiques qui donnent lieu de penser que la vessie natatoire a, chez certaines espèces, d'autres fonctions à remplir que la fonction hydrostatique. J'ai déjà cité plus haut un chapitre de Müller intitulé : *Sur un appareil à ressort chez plusieurs Silénoïdes, et sur une pareille conformation chez d'autres Poissons, destinés à produire la dilatation et la condensation de l'air de la vessie natatoire*, dans *Archives de Müller*, 1842, page 319.

On trouve en outre, dans l'ouvrage du même auteur, intitulé : *Untersuchungen über die Eingeweide der Fische*, p. 55, un chapitre : *Erlaüterung zu der Abhandlung über die Schwimmblase betreffend die Statik der Fische*. C'est une étude sur la faculté que possèdent certains Poissons qui ont, comme les Cyprins, une vessie natatoire formée de deux poches, de pouvoir faire passer l'air d'une cavité dans l'autre, et produire ainsi un déplacement du centre de gravité. Monnoyer a apporté aussi une contribution à l'étude de cette question (voy. *Annales des sciences naturelles*, 1866, t. VI, p. 5).

J'ai écarté cette question, non pas comme étant sans intérêt, mais comme ne rentrant pas dans le problème hydrostatique que j'ai abordé, lequel est relatif essentiellement au changement de densité ; or, il ne s'agit que d'un déplacement du centre de gravité pour ces Poissons ayant la vessie natatoire formée de deux poches.

Respiration. — La comparaison de la vessie natatoire et du poumon a beaucoup occupé les anatomistes.

Placé dans ce travail au point de vue physiologique, je rappelle les justes remarques que faisait, il y a plus de trente ans, J. Müller.

« Le principal caractère d'un poumon, dit-il, est d'avoir des vaisseaux sanguins se divisant dans l'organe respiratoire, des artères qui, à l'inverse des autres artères du corps, contiennent un sang noir, tandis que les veines contiennent un sang rose. Ce n'est pas le cas chez le Polyptère. Les artères du sac naissant des veines branchiales de la dernière branchie, qui n'est qu'une demi-branchie, les veines se jettent dans les veines du foie....

» Les vessies natatoires celluleuses ne sont en aucune façon des poumons; j'ai en effet trouvé chez les Érythrins que les vaisseaux se distinguent complétement des vaisseaux des organes respiratoires, que leurs artères viennent des artères du corps, et leurs veines retournent aux veines du corps.

» Il est par là établi que les vessies natatoires, dans tous les cas, qu'elles soient celluleuses, comme celles des Reptiles, ou non, qu'elles aient leur ouverture dans le pharynx du côté du ventre, du dos ou sur le côté, demeurent une vessie natatoire, et que les poumons et les vessies natatoires sont anatomiquement et physiologiquement complétement distincts. »

Je vais cependant montrer par des expériences que la vessie natatoire est parfois le siége de phénomènes respiratoires.

A une époque où j'analysais l'air de la vessie natatoire des différentes espèces de Poissons que j'avais sous la main, il m'arriva de trouver une différence assez notable entre la composition de l'air pris sur des Cyprins qui vivaient dans un bassin et sur un Cyprin qui, ayant sauté hors de ce bassin, était mort à terre. Comme ce dernier offrait une proportion d'acide carbonique supérieure à la proportion des autres, je pensai que l'asphyxie pouvait à elle seule faire varier la proportion du gaz, et je choisis alors les Poissons qui, en raison du grand développement de l'appareil circulatoire de leur vessie, me semblaient les mieux organisés pour rendre cette influence manifeste.

Un certain nombre de Perches provenant toutes de la même rivière, prises devant moi dans les mêmes conditions et également vives, furent sacrifiées, les unes immédiatement, par la section de la moelle : l'air de leur vessie natatoire, analysé, offrit toujours une proportion d'oxygène comprise entre 19 et 25 pour 100 ; les autres, placées dans un vase contenant quelques litres d'eau qui ne furent pas renouvelés, périrent en moins de vingt-quatre heures : l'air de leur vessie natatoire contenait de l'azote en proportion supérieure à 95 pour 100, le reste était de l'acide carbonique.

Ainsi tout l'oxygène avait disparu.

Pour trouver la proportion d'oxygène tout à fait nulle, il importe d'attendre que tout signe de vie ait disparu avant de retirer le Poisson, et de procéder à l'analyse, sinon on trouve dans la vessie natatoire une quantité d'oxygène d'autant plus voisine de celle qui existe normalement qu'on sacrifie le Poisson plus plein de vie. Par exemple, je recueillis sur une Perche ponctionnée sous l'eau une partie de l'air de la vessie natatoire, et je retirai le trocart sans achever de vider l'organe. Ce Poisson fut soumis à l'asphyxie dans une eau limitée, et, retiré quand le cœur battait encore, il offrit dans la vessie natatoire une quantité d'air contenant une proportion d'oxygène égale à 3,66 pour 100.

Ainsi, il résulte de ces expériences que la proportion d'oxygène contenue dans la vessie natatoire de la Perche diminue jusqu'à zéro quand ce Poisson est mis dans des conditions telles qu'il ne peut plus emprunter ce gaz au milieu ambiant.

Si au lieu d'une Perche on prend un Cyprin, on observe des phénomènes qui paraissent différents. En effet, ces Poissons qui possèdent normalement une proportion d'oxygène plus faible que la Perche, proportion qui est d'environ 8 pour 100 chez la Tanche ; ces Poissons, dis-je, viennent-ils à être asphyxiés dans les mêmes conditions, offrent une proportion d'oxygène très-peu diminuée de la proportion normale ; mais l'absence de corps rouges, tous les phénomènes de circulation, et par suite de formation et d'absorption de gaz dans la vessie natatoire, plus lents

chez ces Poissons, expliquent l'emprunt presque nul de l'oxygène de l'organe par le sang.

Au contraire, chez les Poissons de mer, je parle spécialement des espèces qui possèdent la vascularisation riche des Perches, l'oxygène disparaît peu à peu, et ne se retrouve plus quand on a soumis le Poisson à une asphyxie assez lentement ménagée. C'est ce que j'ai constaté en particulier sur des individus appartenant au genre *Labrus*.

J'ajoute qu'il importe de savoir d'avance quelle est la proportion d'oxygène qui existe dans l'air de la vessie natatoire, et de produire une asphyxie d'autant plus lente que cette proportion est plus considérable.

C'est ainsi que sur un *Labrus* très-vigoureux que j'avais placé dans des conditions spéciales, où la proportion d'oxygène s'élève environ à 80 pour 100 et au delà, j'observai, après l'avoir soumis à une asphyxie prompte en le plaçant dans une quantité d'eau qui lui permettait à peine de se mouvoir, que la proportion d'oxygène qui persistait dans l'air intérieur était encore de 56 pour 100 après la mort.

Cette expérience montre que les phénomènes d'hématose ou de respiration que l'on observe à la surface de la vessie natatoire ne se font pas, même dans les espèces les mieux douées au point de vue de la circulation de l'organe, avec une très-grande facilité, et que l'animal périt asphyxié quand il possède encore une grande quantité d'oxygène dans cet organe.

Si l'on considère que ce gaz oxygène qui existe dans la vessie natatoire a été fourni par le Poisson et est le résultat d'un travail physiologique dans lequel le système nerveux en particulier est intervenu, comme nous le montrerons plus loin par une expérience (voy. p. 79), on peut dire que le Poisson vit aux dépens de sa propre substance. Cette remarque suffit pour donner à cette fonction respiratoire son véritable caractère et dire qu'elle est accidentelle chez le Poisson. A quoi je dois ajouter ce qui suit :

Les nombreuses analyses que j'ai faites sur les Cyprins m'ont montré que l'asphyxie ne donnait pas lieu à une diminution de

l'oxygène comparable à celle que l'on observe sur les Perches; d'où l'on voit que les Poissons qui ont un canal aérien, vestige pour beaucoup d'auteurs de la trachée-artère, ne jouissent pas, au même titre que ceux qui ont la vessie close, du bénéfice de pouvoir au besoin consommer l'oxygène contenu dans l'organe.

En résumé, les expériences que je viens de donner et les considérations que je présente ne contredisent pas la distinction déjà signalée entre la vessie natatoire et le Poumon.

Phonation. — Les naturalistes ont signalé certains Poissons comme faisant entendre des sons qui ont été comparés aux sons vocaux des animaux supérieurs. Parmi eux sont les Trigles, connus des pêcheurs sous le nom de *Grondins*. Le nom d'*Organo* (orgue), employé dans le Midi pour désigner une espèce de ce genre, semble emprunté à la fonction de phonation; celui de Λυρα (lyre) des Grecs désigne aussi une espèce de Grondin : mais cette espèce est privée des muscles propres de la vessie natatoire et paraît ne pas posséder la faculté de produire des sons; la forme particulière de sa tête, qui se termine antérieurement par deux prolongements, rappelle confusément la forme de la lyre, et cette forme est sans doute la raison qui lui vaut son nom.

Dans le genre *Trigla*, plusieurs espèces, et en particulier le *Trigla Hirundo*, ont la vessie natatoire munie de muscles épais et forts. Ces muscles, qui, vus au microscope, offrent la fibre striée, reçoivent deux nerfs volumineux naissant de la moelle épinière, au-dessous des nerfs pneumogastriques et tout près de la première paire dorsale. La membrane muqueuse de la vessie natatoire forme, en s'adossant à elle-même, un repli ou diaphragme qui subdivise la cavité en deux cavités secondaires communiquant entre elles par une ouverture circulaire analogue à l'ouverture pupillaire. Ce diaphragme est assez mince pour pouvoir être examiné au microscope sans préparation. On distingue nettement des fibres circulaires concentriques situées au pourtour de l'ouverture centrale, et constituant un sphincter dans lequel viennent se perdre des faisceaux de fibres muscu-

laires dirigées perpendiculairement aux tangentes de ce cercle. Les fibres circulaires et les fibres radiées ne sont point striées comme les fibres des muscles des parois de la vessie natatoire; elles sont lisses.

Ces diaphragmes existent plus ou moins complets dans plusieurs autres genres de Poissons, et en particulier chez le *Zeus faber*, qui produit des sons analogues à ceux des Grondins, comme les pêcheurs l'ont observé de tout temps et comme je l'ai moi-même constaté. Les muscles de la vessie natatoire du *Zeus faber* reçoivent des nerfs venant de trois paires rachidiennes.

Je sacrifiai un Grondin par la section de la moelle au-dessus de la région dorsale, et ayant ouvert l'abdomen, j'appliquai un courant électrique faible sur les nerfs qui vont à la vessie natatoire. Aussitôt les sons caractérisques que j'avais entendu l'animal produire volontairement pendant la vie se répétèrent. J'appliquai le même courant sur les muscles de la vessie natatoire, mais sans résultat; m'étant ainsi assuré que la contraction des muscles n'était pas due à des courants dérivés, mais à l'action physiologique du nerf excité, j'augmentai l'intensité du courant et j'excitai de nouveau les muscles. Les sons caractéristiques déjà observés se reproduisirent; semblables à un grondement sonore et prolongé, ils furent entendus par des personnes situées à plusieurs pas de distance. J'ai ensuite coupé d'un trait de ciseaux l'extrémité inférieure de la vessie natatoire. La cavité inférieure de l'organe a été ainsi ouverte; le diaphragme et l'ouverture centrale qu'il présente sont devenus visibles. Alors j'ai de nouveau galvanisé les nerfs, et j'ai vu d'une manière très-manifeste le diaphragme vibrer pendant toute la durée de la galvanisation.

Dans ces conditions nouvelles, où l'air intérieur était en communication directe avec l'atmosphère et où le diaphragme qui se continue avec la muqueuse alors sectionnée n'avait plus la fixité de ses attaches, les vibrations du diaphragme, parfaitement visibles pour l'observateur, n'étaient point sonores. J'ai répété sur plusieurs individus ces expériences et avec les mêmes résultats.

Ces diverses expériences montrent que la vessie natatoire de certaines espèces de *Trigla* est l'organe de la phonation, et que les deux nerfs qui naissent de la moelle épinière au-dessous des nerfs pneumogastriques président à cette fonction en animant les muscles et le diaphragme intérieur.

Il est bon de rappeler ici que j'ai montré par des expériences directes (voy. p. 38) que ces muscles si volumineux de la vessie natatoire des *Trigla* ne servent en aucune façon à modifier le volume de la vessie natatoire et à l'accommoder aux besoins de la locomotion ou de la station.

CHAPITRE VII.

VARIATIONS DE L'OXYGÈNE, DE L'AZOTE ET DE L'ACIDE CARBONIQUE DANS L'AIR DE LA VESSIE NATATOIRE, ET CONDITIONS PHYSIOLOGIQUES DE L'ARRIVÉE DE L'OXYGÈNE.

Un grand nombre d'analyses relatives à la nature et à la proportion des gaz contenus dans la vessie natatoire des Poissons m'ont fourni des résultats qui concordent avec ceux que la science possède depuis longtemps.

D'après ces résultats, les gaz contenus dans cette vessie sont : l'oxygène, l'azote et l'acide carbonique ; ils varient suivant les espèces et suivant les individus, dans leurs proportions respectives.

Dans les chapitres consacrés à la question hydrostatique il est établi que la quantité totale de l'air contenu dans l'organe augmente avec la profondeur à laquelle se tient le Poisson.

Prenons successivement les trois gaz : oxygène, azote, acide carbonique, et voyons les conditions de leurs variations.

Oxygène. — A. Étant donnée une espèce de Poisson qui, dans l'état normal, contient une proportion d'oxygène déterminée, je me suis proposé de faire varier cette proportion, et d'abord de la faire descendre à zéro. J'ai résolu ce problème en obligeant le Poisson à vivre dans une eau pauvre en oxygène ; peu à peu l'oxygène contenu dans la vessie natatoire est absorbé et finit même par disparaître tout à fait. Ici, comme dans toute

expérience, il convient de préciser les conditions dans lesquelles on opère. C'est ce que j'ai fait en parlant, dans le chapitre précédent, de la vessie natatoire considérée comme organe d'hématose. Ainsi il convient de prendre des Poissons dont la vessie natatoire est pourvue de corps rouges, c'est-à-dire d'un appareil de circulation sanguin riche et bien développé, condition pour une absorption efficace. En effet, les Poissons privés de cette disposition anatomique qui amplifie l'action des vaisseaux sanguins ont été asphyxiés dans des conditions semblables aux autres et n'ont pas offert la disparition de l'oxygène de la vessie natatoire. Chez les Carpes en particulier, ayant moins de 10 pour 100 d'oxygène dans la vessie natatoire, j'ai trouvé la proportion d'oxygène presque identique à celle des mêmes Poissons tués par section de la moelle, tandis que chez les Perches ayant environ 20 pour 100 d'oxygène dans leur vessie natatoire, l'oxygène avait complétement disparu.

Il faut en outre donner au Poisson une eau qui soit assez aérée pour entretenir quelque temps sa vie et ne pas lui imposer une transition brusque entre l'eau vivifiante et l'eau privée d'oxygène. Cela est d'autant plus nécessaire que le Poisson possède une plus grande quantité d'oxygène dans sa vessie natatoire. En effet, quand il en contient une grande quantité, cette fonction supplémentaire, qui se fait par la surface de la vessie natatoire et qui n'est qu'accidentelle, ne suffit pas à épuiser tout cet oxygène avant que les résultats de la privation d'air dans l'eau qui baigne les branchies aient amené la mort.

Les expériences sur lesquelles sont fondées ces propositions ont été données dans le chapitre VI.

On peut donc, dans les conditions que j'ai déterminées, faire descendre jusqu'à zéro la proportion de l'oxygène de la vessie natatoire.

B. Le problème inverse consiste à faire croître la proportion de ce gaz de plus en plus dans l'air de la vessie natatoire. Voici comment je l'ai résolu.

Je parlerai d'abord des Poissons dont la vessie natatoire possède un conduit aérien, conduit à l'aide duquel le Poisson peut

chasser au dehors l'air de sa vessie natatoire ou emprunter de l'air à l'atmosphère en venant à la surface de l'eau.

Le Poisson placé dans un vase plein d'eau est mis sous la cloche d'une machine pneumatique; à mesure que l'air se raréfie, des bulles de gaz sortent de la vessie natatoire par le canal aérien et s'échappent hors des ouïes et de la bouche. Quand on juge, par la quantité d'air expulsé et par l'abaissement du baromètre qui mesure la pression extérieure de l'appareil, que la presque totalité de l'air est sortie de la vessie natatoire, on fait rentrer dans la cloche l'air atmosphérique : le Poisson, qui jusque-là nageait facilement, tombe aussitôt au fond de l'eau à cause de l'augmentation de sa densité; en effet, la vessie natatoire, dont l'air est raréfié, diminue immédiatement de volume sous le poids de l'atmosphère. On transporte alors le Poisson, en ayant soin qu'il ne sorte pas la tête hors de l'eau, et on le plonge dans un grand bassin où l'eau se renouvelle incessamment. Le Poisson repose alors sur le fond du bassin où le retient sa densité augmentée; il y reste et rampe plutôt qu'il ne nage. Par moments il s'efforce de monter à la surface de l'eau; mais, devenu trop lourd, il n'atteint qu'avec peine un diaphragme disposé d'avance au-dessous de cette surface, et retombe sans avoir pris une bulle d'air. Au bout de quelques jours, et pour certaines espèces au bout de quelques heures, le Poisson commence à nager plus facilement; je juge à ce signe que la vessie natatoire s'est remplie d'un air nouveau, air qui n'a pu être emprunté à l'atmosphère. Je le sacrifie alors par la section de la moelle épinière pratiquée sous l'eau, j'applique une ligature sur le canal aérien, et je porte la vessie natatoire sur la cuve à mercure pour recueillir l'air nouveau qu'elle contient et en déterminer la composition chimique.

L'analyse de cet air révèle une proportion d'oxygène bien supérieure à celle qui se trouvait dans l'air expulsé par l'action de la machine pneumatique, et bien supérieure aussi à la proportion que contient l'air dissous dans l'eau. Je vais citer des exemples :

Huit Tanches (*Cyprinus Tinca*) furent prises dans les mêmes

conditions : sept furent sacrifiées par la section de la moelle épinière; l'air de leur vessie natatoire fournit une proportion d'oxygène inférieure à 8 pour 100 pour chacune d'elles. La huitième fut soumise aux conditions expérimentales que je viens d'indiquer, et sacrifiée au bout de quinze jours. L'air de la vessie natatoire offrait alors 60 pour 100 d'oxygène.

Trois Congres (*Muræna Conger*) furent choisis dans des conditions identiques. L'un d'eux, sacrifié immédiatement, présenta 30 pour 100 d'oxygène. Un autre fut soumis à l'action de la machine pneumatique jusqu'à ce que la colonne de mercure fût descendue à 20 centimètres, puis il fut replacé dans un bassin d'eau de mer; sacrifié deux jours après, il présenta 62 pour 100 d'oxygène. Le troisième Congre fut soumis une première fois à l'action de la machine pneumatique mesurée par une colonne de mercure de 9 centimètres, puis porté dans le bassin d'eau de mer; le lendemain il fut soumis une seconde fois, et avec les mêmes précautions, à l'action de la machine pneumatique, dans le but de faire sortir plus complétement l'air ancien resté dans la vessie natatoire; il fut reporté ensuite dans le bassin d'eau de mer, et sacrifié après vingt-quatre heures : l'analyse de l'air de la vessie natatoire montra que l'oxygène s'y élevait à 87 pour 100.

Je ne multiplierai pas davantage ici les exemples; ceux que je viens de citer montrent des faits nouveaux, à savoir : que chez les Poissons qui possèdent un canal aérien et qui ont été placés dans l'impossibilité d'emprunter les gaz de l'atmosphère, la vessie natatoire se remplit bientôt d'un air nouveau singulièrement riche en oxygène; de plus, que l'air se renouvelle même dans les espèces dont la vessie natatoire ne possède pas les organes vasculaires connus sous le nom de *corps rouges*.

Je vais maintenant parler des Poissons qui ont la vessie natatoire complétement close. Comme on ne saurait employer avec ces Poissons le procédé de la machine pneumatique, voici celui que j'ai mis en usage pour enlever l'air de la vessie natatoire. Je pratique sur ces Poissons la ponction de la vessie natatoire à l'aide d'un trocart fin, et je recueille sous l'eau une partie de

l'air contenu dans cet organe. L'épaisseur des tissus qu'il faut traverser fait que la plaie très-étroite produite par le trocart se referme à mesure que l'on retire cet instrument, et ne laisse pas entrer l'eau dans la vessie. Après la ponction, je laisse vivre le Poisson dans les meilleures conditions physiologiques, et je le sacrifie au bout d'un ou de plusieurs jours. Voici quelques exemples :

Quatre Perches (*Perca fluvialis*) furent prises dans les mêmes conditions et ponctionnées sous l'eau. L'air de la vessie natatoire contenait une proportion d'oxygène comprise entre 19 et 25 pour 100. Elles furent sacrifiées au bout de dix jours. La proportion d'oxygène était alors comprise entre 40 et 65 pour 100.

Une Daurade (*Sparus Aurata*) fournit par la ponction un air contenant 16 pour 100 d'oxygène. Sacrifiée deux jours après, elle donna 58 pour 100. Une autre Daurade fournit 17 pour 100; elle est sacrifiée le lendemain et donne 59 pour 100.

Un Labre (*Labrus variegatus*) offre à la première ponction 19 pour 100 d'oxygène, et vingt-quatre heures après 57 pour 100; un autre Labre 18 pour 100, puis 85.

Dans ces expériences on ne peut vider complétement la vessie natatoire; il reste donc une fraction de l'air qu'elle contenait, air possédant une forte proportion d'azote. Si l'on considère que l'air retiré finalement, quand on sacrifie le Poisson, est mélangé avec cette fraction d'un air ancien très-riche en azote, et que ce mélange contient cependant une proportion d'oxygène qui peut s'élever à 85, 87 pour 100 et au delà, on est conduit à penser que c'est de l'oxygène pur qui apparaît dans la vessie natatoire. Un problème nouveau de physiologie générale s'offre donc à l'esprit.

Ainsi le physiologiste est, comme nous le voyons, maître de faire augmenter à volonté la proportion d'oxygène dans l'air de la vessie natatoire. Mais il importe pour cela qu'il se place dans les meilleures conditions possibles, afin que le Poisson soit dans un état normal ou de santé : hors de cet état, en effet, j'ai toujours vu le renouvellement de l'air se faire avec lenteur, et l'air nouveau n'offrir qu'une faible proportion d'oxygène. Il importe

aussi, si l'on veut avoir une proportion maximum de ce gaz, de ne pas attendre au delà d'un certain temps pour analyser l'air de la vessie natatoire.

Dans les expériences qui précèdent, c'est toujours en diminuant la quantité d'air contenue dans la vessie natatoire que l'on provoque la formation d'un air nouveau, dont la quantité remplace la quantité soustraite. Il arrive que la nature de cet air nouveau est toute spéciale : c'est l'oxygène.

On peut encore obtenir la formation de l'oxygène sans enlever d'air à la vessie natatoire. Il suffit, en effet, de faire subir au Poisson une augmentation dans la pression extérieure ; le moyen le plus simple consiste à le maintenir à une profondeur plus grande dans une eau aérée et qui ne soit pas capable de s'appauvrir en oxygène pendant l'expérience. Les faits suivants l'établissent et confirment le fait que Biot avait annoncé, savoir, que la proportion d'oxygène va grandissant en raison directe de la profondeur où le Poisson est pêché. Elles établissent que l'oxygène augmente en proportion et augmente aussi en quantité absolue.

Deux Poissons de l'espèce dite Vieille (*Labrus maculatus*) sont pris dans un bassin d'une profondeur de moins d'un mètre et mesurés à l'aide de l'appareil (fig. 11), composé des trois pièces représentées figures 8, 9, 10, qui permet de comparer à deux moments donnés le volume offert par le Poisson. Ils sont ensuite placés dans un panier submergé à une profondeur de 7 à 8 mètres, où ils séjournent pendant quarante-deux heures. Ils sont mesurés une seconde fois, et offrent, après ce séjour dans cette profondeur, une augmentation de $6^{cc},56$ pour le plus gros, et de $4^{cc},64$ pour l'autre.

L'augmentation de volume mesurée par l'émergence d'une plus grande longueur du tube de verre est due à l'ampliation de la vessie, qui s'est remplie d'une nouvelle quantité d'air pendant le séjour dans une eau profonde, et qui se trouve tout à coup ne plus subir que la pression habituelle, c'est-à-dire la pression atmosphérique que le Poisson supportait en vivant à fleur d'eau dans le bassin où il a été pris.

Ces mesures montrent que la quantité d'air qui était dans la vessie natatoire est augmentée. Nous allons voir que c'est le gaz oxygène qui a fourni cette augmentation.

Deux Grondins sont ensemble dans le même bassin d'une petite profondeur et y vivent depuis un long temps. L'un d'eux est sacrifié, il offre 16 pour 100 d'oxygène; l'autre est maintenu quarante-huit heures à la profondeur de 7 à 8 mètres, il donne 52 pour 100 d'oxygène dans l'air de sa vessie natatoire.

Un Mulet (*Mugil cephalus*) donne 16,1 d'oxygène; son compagnon de bassin est maintenu quatre jours à 7 ou 8 mètres de profondeur : il donne 30 pour 100 d'oxygène.

Une Vieille (*Labrus maculatus*) du bassin habituel donne 22,4 pour 100 d'oxygène; une autre, du même bassin, reste quatre jours à la profondeur de 7 à 8 mètres, et fournit 45 pour 100 d'oxygène dans l'air de sa vessie natatoire.

Il est donc établi expérimentalement que le Poisson qui s'enfonce dans l'eau augmente la quantité d'air qu'il possède et accroît d'une manière notable la proportion d'oxygène qu'il possédait.

Les deux séries d'expériences que je viens de citer méritent d'être comparées, et l'on verra qu'elles se réduisent à une seule, et que malgré la différence apparente des conditions de ces Poissons qui, dans la première série, sont privés artificiellement d'une partie de l'air de leur vessie natatoire, tandis que dans la deuxième série ils subissent l'influence de pressions augmentées, il y a cependant une similitude très-grande entre ces Poissons au point de vue physiologique.

Nous avons vu, en effet, qu'un Poisson qui s'enfonce dans la profondeur subit une pression qui va toujours croissant et augmente la quantité d'air qu'il possédait, de façon à corriger la diminution de volume qu'il subit de la part de la pression extérieure par l'augmentation qu'il obtient en formant une nouvelle quantité d'air. C'est ainsi qu'il réalise un volume constant qui est son volume normal, et une densité constante qui est la densité de l'eau. Or, un Poisson auquel on retire une certaine quantité d'air se trouve par cela même diminué dans son

volume; il doit, pour reprendre sous la même pression le volume qu'il a perdu, reformer une nouvelle quantité d'air. Nous avons vu qu'il refaisait cette quantité perdue et qu'il fournissait, en place de l'air enlevé, de l'oxygène pur. Le Poisson qui a servi est en général un Poisson de rivière, vivant près de la surface de l'eau, supportant la pression atmosphérique et quelques centimètres de pression d'eau. La soustraction d'air qui lui a été faite l'a placé subitement dans les conditions où il serait arrivé s'il s'était peu à peu transporté de la rivière ou du bassin qu'il habitait avec une pression atmosphérique d'environ 760 millimètres, à une altitude plus ou moins élevée, où le baromètre n'aurait plus marqué qu'un petit nombre de millimètres. Aussitôt que cette cause d'évacuation de l'air cesse d'agir, il se retrouve dans l'eau à la pression de 760 millimètres diminué de volume; il travaille d'une manière inconsciente à reprendre son volume par cet artifice sur lequel j'ai suffisamment insisté, qui consiste à faire une nouvelle quantité d'air, et j'ajoute en ce moment d'un air composé d'oxygène pur.

Il y a donc une analogie complète au point de vue physiologique entre le Poisson de rivière auquel j'ai soustrait une partie de l'air contenu dans la vessie et que j'ai replacé dans un bassin peu profond, et le Poisson de mer qui vivait près de la surface et que j'ai obligé à vivre à une profondeur qui lui impose une pression notable.

Azote. — Nous avons vu que l'oxygène pouvait varier en toutes proportions dans les analyses de Biot, de Delaroche, et je puis ajouter dans les miennes; on trouve en effet des exemples dans lesquels l'oxygène varie de zéro à 80 pour 100 et même au delà. Je parle de vessies natatoires enlevées sur des Poissons pris dans leurs conditions normales, et j'ajoute que les conditions que l'on sait déterminer et que j'ai données dans le paragraphe précédent font varier aussi et à volonté l'oxygène dans des limites aussi étendues.

En outre, ajoutons que les proportions d'acide carbonique sont généralement au-dessous de 10 pour 100 et même au-dessous de 5 pour 100.

On peut donc considérer l'azote comme le complément de l'oxygène dans l'air de la vessie natatoire, et puisque l'on peut avoir à volonté les plus faibles et les plus fortes proportions d'oxygène, on peut, par suite, avoir réciproquement les plus fortes et les plus faibles proportions d'azote.

Mais au lieu des conditions que l'expérimentateur crée, revenons au Poisson tel qu'il est pris dans la nature. Nous constatons que l'azote n'offre de grandes proportions que chez ceux qui vivent près de la surface, sans s'enfoncer beaucoup, c'est-à-dire dans les conditions où le Poisson ne possède qu'une quantité d'air petite relativement à la quantité qu'il présente quand il est pris dans la profondeur. Cette quantité d'air une fois formée, et nous admettons, après les preuves données plus haut sur les Tanches, qui refont de l'oxygène pur quand on a extrait l'air de leur vessie, nous admettons qu'elle était composée d'oxygène quand elle s'est formée, il arrive que la circulation des parois de la vessie natatoire met en présence, pendant un temps indéfiniment prolongé, un sang qui n'est pas nécessairement saturé d'oxygène et qui échange très-lentement l'azote qu'il possède contre l'oxygène de la vessie. Cet échange, se continuant pendant un temps très-long avec une quantité d'oxygène relativement petite, donne lieu à une proportion croissante d'azote. Cette condition d'une lenteur extrême dans cet échange suffit pour permettre de comprendre comment chez les Poissons pris dans la profondeur on trouve toujours l'oxygène en proportion beaucoup plus forte et croissante avec la profondeur. En effet, à 100 mètres de profondeur, l'oxygène qui a été produit pour donner le volume normal est dix fois plus considérable en quantité que celui qui a dû être produit pour former le même volume au-dessus de 10 mètres.

Il faudrait donc un temps dix fois plus grand pour cet échange, et un temps plus grand encore pour que l'air intérieur du Poisson pris à une profondeur plus grande possédât une proportion d'azote telle que celle que l'on trouve chez les Tanches, proportion qui est d'environ 90 pour 100.

On peut donc se rendre compte des différences offertes par

les Poissons sous le rapport de la proportion d'azote qu'ils présentent, en tenant compte de la petite quantité d'air que possèdent ceux qui vivent près de la surface par rapport aux autres, et en admettant un échange extrêmement lent de l'azote du sang et des tissus contre l'oxygène de la vessie natatoire.

Acide carbonique. — J'ai soumis des Perches à l'asphyxie en les plaçant dans un vase où l'eau n'était pas renouvelée et dont l'air dissous était insuffisant à entretenir la respiration, et j'ai comparé les nombres trouvés avec ceux que m'offraient les Perches normales sacrifiées pleines de vie. Or, les Perches normales sacrifiées par la section de la moelle épinière ont fourni, sur douze expériences, une moyenne de 0,97 pour 100 d'acide carbonique.

Et les Perches asphyxiées ont fourni, sur treize expériences, une moyenne de 1,1.

La différence est trop petite pour qu'on puisse lui accorder une valeur positive; on peut seulement dire que l'acide carbonique n'augmente pas dans la même proportion que l'oxygène diminue. Sauf dans quelques expériences qui ont offert accidentellement des conditions mal déterminées, les résultats obtenus sur d'autres espèces de Poissons se rapprochent de ceux-ci.

Les Barbillons offrent une légère augmentation de la proportion d'acide carbonique après l'asphyxie.

Ainsi, sur dix analyses faites sur des Barbillons normaux tués par la section de la moelle épinière, l'acide carbonique fut en moyenne de 0,22; tandis que sur vingt et une analyses de Barbillons asphyxiés, ce gaz fut en moyenne de 1,97. Les Carpes m'ont offert aussi une légère augmentation, ainsi que les Tanches.

Si les résultats d'analyses, très-nombreuses, dont je crois inutile de donner le détail, ne me conduisent pas à résoudre la question de savoir si l'on peut faire varier à volonté la proportion d'acide carbonique qui se rencontre normalement dans la vessie natatoire des Poissons, cependant on peut assurer que chez les espèces douées de corps rouges, les Perches, les Labres,

que j'ai soumis à l'asphyxie, l'augmentation de l'acide carbonique normal n'est jamais en rapport avec la diminution de l'oxygène de l'air de la vessie natatoire. Je rappellerai, à propos de l'acide carbonique, que la proportion qu'offre ce gaz est bien différente de celles que nous présentent l'azote et l'oxygène, et qu'il est rare de la voir atteindre 10 pour 100 de la quantité totale de l'air.

Sur les conditions physiologiques de l'arrivée de l'oxygène. — En parlant des proportions de l'oxygène dans l'air de la vessie, j'ai montré que l'on pouvait trouver des Poissons possédant une proportion de ce gaz voisine de 90 pour 100, soit en les allant chercher dans les grandes profondeurs, comme avait fait Biot, soit en les plaçant dans des conditions que j'ai déterminées, et qui consistent à extraire plusieurs fois de suite une partie de l'air de la vessie natatoire.

Voyons comment on peut se rendre compte de la présence de l'oxygène. Comme on l'a vu, le Poisson qui ne peut respirer d'oxygène dans l'eau, consomme celui de sa vessie natatoire.

Il convient donc, dans les expériences qui suivent, de placer le Poisson dans une eau bien aérée.

L'expérience suivante montre l'influence du système nerveux sur la formation de l'oxygène dans la vessie natatoire.

J'avais lié le conduit aérien sur une Tanche (*C. Tinca*). Le Poisson survécut à l'opération et fut sacrifié au bout de quinze jours. L'analyse de l'air contenu dans la vessie natatoire fournit une proportion d'oxygène entre 12 et 14 pour 100, ainsi supérieure de 6 ou 8 à la proportion qui existe normalement dans cette espèce de Poisson.

Je supposai que cette augmentation était due à la ligature des filets nerveux qui accompagnent le conduit aérien et se portent à la vessie natatoire; mais comme ces filets ne proviennent pas d'une source unique, il fallait trouver par des dissections un point où les nerfs allant à la vessie natatoire pussent être distingués entre eux et soumis séparément à l'expérimentation.

L'artère cœliaco-mésentérique, qui fournit le sang à la vessie

natatoire, est enveloppée par un réseau nerveux formé par les anastomoses inextricables du grand sympathique et du pneumogastrique. Le nerf qui apporte à ce plexus les éléments du pneumogastrique est une division du rameau intestinal, division qui vient se jeter sur l'artère en un point tel que l'opérateur qui l'atteint peut agir séparément sur l'une ou l'autre des origines nerveuses du plexus. Je vais indiquer la situation de ce point. Celui qui considère un squelette de Cyprin voit une grande apophyse partant de la colonne vertébrale et formant avec la première côte un angle aigu. Cette apophyse donne insertion à un tendon s'élargissant aussitôt et formant un plan aponévrotique qui se porte sur la face antérieure de la vessie natatoire. Ce tendon élargi est le principal point de repère dans l'opération actuelle; en effet, l'artère cœliaco-mésentérique est perpendiculaire au plan de cette aponévrose qu'elle traverse. Au-dessus de ce plan, elle est entourée par le ganglion et les nerfs sympathiques seuls. Au-dessous et à quelques millimètres du même plan, elle reçoit les filets nerveux provenant du rameau intestinal du pneumogastrique.

Voici comment j'opère. Au niveau de l'articulation des côtes à la colonne vertébrale et parallèlement à l'axe du corps, j'incise, depuis la première côte jusqu'à la ceinture osseuse, les téguments et les tissus sous-jacents; puis, à l'aide de deux incisions menées parallèlement aux côtes et partant des extrémités de la première incision, je forme un lambeau que je rabats pour mettre à découvert les viscères situés en avant de la vessie natatoire. Le rein est alors sous les yeux; j'écarte le lobe cachant l'aponévrose qui sert de point de repère. Tels sont les premiers temps de l'opération.

Si je veux agir sur le sympathique, j'écarte un nouveau lobe du rein placé au-dessus de cette aponévrose et qui cache l'artère; celle-ci étant mise à nu, j'enlève le ganglion qui est translucide et les filets sympathiques qui l'accompagnent.

Si je veux agir sur le pneumogastrique, j'écarte la portion du rein placée au-dessous de l'aponévrose, j'incise une lame fibreuse qui recouvre le foie, je soulève le foie avec précaution

pour ne pas rompre un sinus volumineux, et j'aperçois l'artère et les filets du pneumogastrique qui viennent se jeter sur elle. Je resèque ces filets nerveux avant leur accolement à l'artère.

Je remets ensuite les organes en place et recous le lambeau avec le plus grand soin. Ces opérations peuvent durer plus d'une heure sans que la Tanche soit en danger de périr.

J'ai opéré une Tanche et j'ai coupé les filets sympathiques et le ganglion au lieu d'élection. Cinq jours après, cette Tanche, sacrifiée, avait 10 pour 100 d'oxygène dans sa vessie natatoire.

Une autre, opérée de même et sacrifiée au bout de quinze jours, offrit 12 pour 100 d'oxygène.

Une autre, au bout de dix-sept jours, offrait 17 pour 100 d'oxygène.

Une autre, au bout de vingt-six jours, 27 pour 100 d'oxygène.

Ces expériences montrent que la section du nerf sympathique accolé aux artères allant à la vessie natatoire détermine des modifications qui amènent une augmentation de l'oxygène contenu dans la vessie natatoire. Cette conclusion me paraît mise hors de doute quand on considère que l'opération longue et et grave, nécessaire pour mettre à découvert les filets et le ganglion sympathique, ne produit rien, si l'on ne touche à ces organes, et que la section des filets du nerf pneumogastrique qui se portent sur la même artère ne produit pas non plus l'augmentation de l'oxygène. Voici en effet des expériences comparatives :

Une Tanche qui n'avait subi aucune opération vécut dans le même bassin que les Tanches opérées. Sacrifiée au bout d'un mois, elle offrit 4,5 pour 100 d'oxygène.

Une autre Tanche, à laquelle je fis subir toute l'opération décrite pour la section du sympathique, en m'abstenant de couper les nerfs et le ganglion mis à découvert, fut sacrifiée au bout de dix jours et offrit 5 pour 100 d'oxygène.

L'opération par elle-même n'avait donc pas fait varier la proportion de ce gaz d'une quantité supérieure à celle que peuvent donner les variations individuelles.

J'ai pratiqué sur une Tanche la section du rameau du nerf pneumogastrique suivant le procédé décrit. L'air de la vessie natatoire offrait, au bout de onze jours, 5 pour 100 d'oxygène.

Une autre Tanche subit de la même manière la section du pneumogastrique, et au bout de vingt-cinq jours elle offrait 2 pour 100 d'oxygène.

On ne peut supposer que c'est par la diminution de l'azote qu'augmente la proportion de l'oxygène; car, s'il en était ainsi, on trouverait la vessie natatoire flasque et presque vidée, tandis qu'elle est toujours pleine et tendue. C'est donc en quantité absolue que l'oxygène augmente en même temps qu'en proportion relative.

Il est donc établi que la section du nerf sympathique amène l'augmentation de l'oxygène contenu dans l'air de la vessie natatoire.

Comment maintenant, et avec les faits acquis, est-on conduit à interpréter l'arrivée de l'oxygène dans la vessie natatoire?

Ce gaz se produit dans les trois circonstances suivantes :

Chez le Poisson qui quitte un certain niveau pour un niveau plus profond. Les expériences citées, dans lesquelles un Poisson est placé et maintenu dans un panier submergé à une certaine profondeur, l'établissent.

Chez le Poisson auquel on fait subir une diminution de l'air contenu dans la vessie natatoire : je l'ai également montré, et j'ajoute que cette condition rentre dans la précédente, comme je le montre ailleurs.

Enfin chez la Tanche à laquelle on a pratiqué la section du nerf sympathique accompagnant l'artère cœliaco-mésentérique et se portant sur les artères de la vessie natatoire.

Il résulte encore des expériences précédentes que l'air se renouvelle dans la vessie natatoire du Poisson qui possède un canal aérien, comme il se renouvelle dans la vessie natatoire close. C'est l'oxygène qui se surajoute à l'air préexistant quand les conditions de formation d'un nouvel air sont réalisées.

Par suite le mécanisme intérieur de la formation de la grande quantité d'oxygène dans la vessie natatoire des Poissons pris à

une grande profondeur est le même chez les Poissons à vessie ouverte et à vessie close.

En effet, c'est dans les mêmes conditions que se produit cette augmentation d'oxygène, et l'on ne peut invoquer, nous l'avons expliqué, la présence du canal aérien et la possibilité de prendre de l'air libre à l'atmosphère pour expliquer la présence de l'air contenu dans la vessie natatoire. Le rôle que l'on attribue aux corps rouges des vessies closes dans cette formation de l'air intérieur appartient donc aussi bien, quoique avec une moins grande puissance, à la vessie natatoire privée de ces organes.

L'expérience dans laquelle on voit qu'une lésion d'un nerf particulier qui se porte à la vessie natatoire donne lieu à une production exagérée d'oxygène sans que les conditions normales, c'est-à-dire la pression extérieure augmentée, soient réalisées, montre que cette condition de la pression extérieure n'est point la cause prochaine du phénomène; mais comme il est prouvé d'autre part qu'elle agit normalement pour provoquer le même phénomène, on doit, dans l'état actuel de la question, interpréter les faits acquis de la manière suivante, qui se trouve conforme à un grand nombre d'actions analogues en physiologie, particulièrement de sécrétions.

On est, dis-je, conduit à admettre que la pression extérieure de l'eau, quand elle vient à augmenter, agit sur l'ensemble du système nerveux périphérique, et provoque une action qui se réfléchit sur les nerfs sympathiques centrifuges allant à la vessie natatoire, en sorte que ces nerfs ainsi influencés interviennent de la même manière et avec les mêmes effets que dans l'expérience, où, sans agir sur les nerfs périphériques centripètes, on a sectionné ces nerfs sympathiques.

La section des nerfs sympathiques qui entourent l'artère cœliaco-mésentérique est au contraire une action directe, c'est-à-dire dans laquelle la réflexion sur un centre nerveux ne peut être invoquée.

Ainsi la pression extérieure devient la condition de la formation de l'oxygène qui s'ajoute à l'air intérieur dans la vessie

d'un tissu sur un autre tissu, et la mise en jeu par le système nerveux des organes qui fournissent les conditions physico-chimiques, que nous devons considérer comme les causes les plus prochaines, donnant lieu à l'apparition de l'oxygène dans la vessie natatoire. L'analyse scientifique qu'impose le problème que nous étudions ne saurait en effet être considérée comme achevée par la détermination d'une influence nerveuse dans la production de l'oxygène, de même que la production de la chaleur sous l'influence de la section du filet cervical sympathique ne peut être considérée comme le dernier mot d'une question arrivée à des termes irréductibles.

RECHERCHES PHYSIOLOGIQUES

SUR

LA TORPILLE ÉLECTRIQUE

AVANT-PROPOS

Les Poissons électriques ont été l'objet d'études nombreuses et appellent de nouvelles recherches, car on ne peut, dans l'état actuel de la science, considérer le problème de la décharge de la Torpille comme résolu, c'est-à-dire comme rapporté à des conditions physiques déterminées.

Je cite dans ce travail les faits que j'ai constatés et qui peuvent, je crois, servir à l'histoire physiologique des Poissons électriques.

CHAPITRE PREMIER.

NOTIONS ET OBSERVATIONS PRÉLIMINAIRES. — EXPÉRIENCES POUR JUGER SI LA TORPILLE EST INSENSIBLE A SA PROPRE DÉCHARGE. — ACTION DU CURARE SUR LA TORPILLE ÉLECTRIQUE.

On sait de toute antiquité qu'un homme qui s'avance dans la mer les pieds nus éprouve parfois tout à coup une sensation d'engourdissement dans le pied. Cette sensation, qui peut être très-douloureuse, est produite par un Poisson qui se tient habituellement immobile au fond de l'eau, caché dans le sable, et dont la présence est à peine indiquée par la ligne régulière de son contour, par les deux yeux et par les opercules qu'anime le double mouvement de la respiration. La Torpille ainsi cachée et comme à l'affût attend qu'une proie arrive à sa portée : qu'un Poisson passe, et la décharge, littéralement rapide comme la foudre, l'atteint douloureusement; la victime, immobilisée

pour quelques instants, est engloutie dans l'estomac avant d'avoir repris la liberté de ses mouvements.

Un jour que j'accompagnais les pêcheurs en mer, une Torpille fut prise et mise au fond de la barque, dans un petite quantité d'eau; bientôt un Turbot d'une taille presque égale à celle de la Torpille fut pris et jeté dans le bateau; il vint à glisser sur le plancher jusqu'auprès de la Torpille.

Tout à coup nous le vîmes faire un bond énorme, puis rester pendant plus d'une minute immobile, le corps ployé en deux dans une violente contraction. Il venait de recevoir la décharge de la Torpille, et il fut évident que le Turbot eût été incapable d'échapper à son adversaire.

La proie vivante dont la Torpille se repaît, peut être d'une taille relativement considérable. Il m'est arrivé, une fois que j'étais occupé à faire des expériences sur la circulation, de recevoir une Torpille vivante et difforme. Pour engager les tubes dans les vaisseaux, je fus conduit à ouvrir l'estomac afin de le vider. Cet organe, énormément distendu, contenait une Sole repliée sur elle-même, non encore entamée par les sucs digestifs, et d'une longueur presque égale à celle de la Torpille.

La fonction de l'organe électrique se développe avant la naissance. Étant à Arcachon, j'ouvris l'abdomen d'une Torpille vivante, et ayant incisé avec précaution l'utérus, comme dans l'opération césarienne, je retirai plusieurs Torpilles déjà bien développées.

Une d'elles que je soutenais sur la paume de la main me donna tout à coup une commotion très-vive. Ainsi cette Torpille qui n'était pas encore sortie de l'utérus possédait déjà une arme défensive capable de la protéger contre la voracité des Poissons, en attendant qu'elle lui servît à conquérir sa proie.

Nous savons par les récits du savant voyageur de Humboldt que les Gymnotes, poissons électriques des eaux douces de l'Amérique méridionale, en s'attachant au corps des chevaux qui descendent dans l'eau, les frappent de coups si terribles, que ces animaux donnent tous les signes de la douleur la plus vive et de l'effroi le plus grand, et finissent par succomber dans cette lutte

étrange. Cependant, en voyant ces grands animaux devenir victimes des Gymnotes, nous risquons de nous faire une idée exagérée de la puissance de leurs appareils, surtout si nous nous rappelons avec quelle peine, dans les laboratoires, nous déterminons la mort des plus petits animaux par des décharges électriques. C'est qu'en effet les chevaux ne périssent pas par l'effet immédiat de la décharge; ils sont frappés d'engourdissement et d'une sorte de paralysie qui les empêche de nager. Leurs efforts inutiles et désespérés achèvent de les épuiser, et quand la fatigue ne leur permet plus de tenir leurs naseaux hors de l'eau, ils cessent de respirer et périssent noyés.

Un sort pareil menace les hommes qui, nageant dans une eau profonde, sont atteints par les décharges des Poissons électriques; mais ce danger, réel dans les pays de l'équateur où certaines espèces de Poissons électriques ont une grande puissance, n'est pas à redouter sur nos côtes de la Méditerranée et de l'Océan. La première décharge que l'on reçoit est pénible, mais elle ne suffit pas en général à paralyser le nageur. Une seconde décharge, toujours plus faible que la première, est presque sans exemple; le Poisson fuyant presque toujours un adversaire qu'il ne regarde pas comme une proie à sa convenance.

Les effets, les sensations que l'on éprouve quand on reçoit une décharge ne sont pas toujours les mêmes et peuvent varier chez les différentes personnes.

J'avais limité dans la mer un certain espace où j'enfermais des Torpilles. Couché à plat ventre sur un bateau, je plongeais les deux bras dans l'eau pour saisir par la queue un de ces Poissons destinés à mes expériences. Pendant ces tentatives j'éprouvais souvent la commotion dans l'un des bras, toujours le même, sans la ressentir dans l'autre.

Cet effet, qui me paraissait singulier, s'expliqua naturellement lorsque je découvris de petites écorchures que j'avais à la main du côté où je sentais si vivement les décharges produites par les Poissons qui s'agitaient et nageaient autour de moi. Comme on le voit, l'appréciation de l'intensité des décharges peut offrir des difficultés tenant à des causes variées.

Dans les recherches physiologiques on a souvent besoin d'obtenir à un moment donné la décharge. Et comme l'animal fatigué peut ne pas répondre aux excitations, il convient de savoir que si l'on isole un des nerfs qui se portent à l'appareil électrique, on obtiendra immédiatement la décharge du département de l'organe correspondant, en excitant ce nerf, soit par le pincement, soit par un faible courant électrique, ou par un des agents excitateurs des autres nerfs.

Expériences relatives à la sensibilité de la Torpille, par rapport à sa propre décharge. — Rien de plus paradoxal que la fonction propre aux Poissons électriques. Une Torpille donne une décharge qui atteint les Poissons du voisinage et les prive pour quelque temps de la faculté de se mouvoir. Elle est atteinte elle-même cependant; elle ne bouge pas, elle reste immobile pour se jeter ensuite sur la proie encore impuissante à se sauver.

Cependant si l'on excite avec l'électricité les muscles, les nerfs de sentiment ou de mouvement, on trouve qu'ils réagissent fortement sous l'influence de l'électricité.

Comment les Poissons électriques ne sont-ils pas les premiers blessés par les décharges qu'ils produisent?

L'expérience suivante prouve que les nerfs électriques sont absolument insensibles.

Sur une Torpille vivante je dissèque avec précaution un de ces nerfs, et la continuité de ce nerf avec la moelle étant demeurée intacte, je le galvanise avec les courants de plus en plus forts, sans observer le moindre signe de réaction. Je ne parle pas de ce qui peut se passer à l'extrémité périphérique du nerf. Il y a en effet toujours une décharge dans le département correspondant au nerf excité; mais pour ne pas avoir à m'en préoccuper, je coupe le nerf en le détachant du tissu électrique et je galvanise le bout central : je n'obtiens aucun signe de sensibilité. Comme le nerf électrique traverse la branchie en lui fournissant de nombreux filets nerveux, il était naturel de penser que l'excitation portée au niveau des branchies pouvait provoquer une réaction. C'est en effet ce que j'ai constaté en plaçant les rhéophores en arrière de l'organe électrique, sur le nerf

au niveau des branchies : ainsi portant l'excitation à quelques millimètres au-dessus de l'organe électrique, j'avais des réactions très-fortes, c'est-à-dire des mouvements généraux de tout le corps, dus évidemment à l'excitation des filets sensibles qui se détachent des branches du pneumogastrique pour animer l'appareil des branchies.

Il est donc établi par cette expérience que les nerfs électriques, nerfs provenant presque tous du pneumogastrique, peuvent posséder des filets de sensibilité au commencement de leur trajet, mais en sont complétement dépourvus quand ils atteignent l'organe électrique lui-même.

Mais l'insensibilité absolue des nerfs électriques ne suffit pas pour expliquer comment le Poisson ne ressent pas par ses nerfs de sentiment des effets semblables à ceux qu'éprouvent les autres Poissons plongés dans ce liquide que traverse la décharge. Déjà les différents auteurs qui ont parlé de ce sujet ont avancé que les Poissons électriques éprouvent, mais à un degré beaucoup plus faible que les autres Poissons, les effets des décharges électriques. Je citerai particulièrement les expériences faites par du Bois-Reymond, sur des Gymnotes, qu'il soumettait à des passages de courants énergiques traversant l'eau où ils nageaient conjointement avec d'autres Poissons ; tandis que ceux-ci manifestaient vivement leur sensibilité, les Gymnotes paraissaient insensibles, mais savaient cependant, quand les décharges étaient fortes, prendre la situation la plus favorable pour les sentir le moins possible.

Dans les observations que j'ai faites sur la Torpille, j'ai vu ce poisson donner des décharges sans faire le moindre mouvement apparent ; les décharges étaient accusées par des Grenouilles ou des appareils de physique : mais à mesure que les décharges se répètent, elles s'accompagnent de mouvements plus ou moins prononcés des yeux, des ailes et même du reste du corps.

Il m'a paru que la fatigue était la condition dans laquelle on observait des mouvements trahissant la sensibilité de l'animal. Ainsi, par exemple, un mouvement qui coïncide avec la décharge des Torpilles, et que j'ai toujours observé quand l'a-

nimal est fatigué, c'est l'abaissement de l'œil. J'ai reproduit à volonté ce phénomène en déterminant la décharge du département antérieur de l'organe.

Ainsi je coupe le premier nerf électrique, branche de la cinquième paire, près de son origine; je le soutiens à l'aide d'un fil de soie sec; j'excite ce nerf, soit par l'électricité, soit par le pincement : j'obtiens aussitôt la décharge du département antérieur de l'organe, et avec elle l'abaissement très-prononcé de l'œil. Il est à remarquer que l'on obtient encore ce mouvement après la destruction complète du cerveau. Dans ce cas on ne peut plus le considérer comme mouvement réflexe, mais comme dû à l'excitation que l'électricité de la décharge de la Torpille produit sur le nerf moteur abaisseur de l'œil. Tous ces effets sont dus à l'action de l'électricité de la Torpille sur ses propres tissus.

Dans l'expérience qui suit on voit certains phénomènes de sensibilité produits par la décharge de la Torpille et exagérés à la faveur d'un artifice opératoire. On sait en physiologie qui si l'on sépare le cerveau de la moelle épinière en faisant une section au niveau de leur union ou même plus bas, les excitations portées sur les nerfs médullaires placés au-dessous de la section donnent lieu à des actions réflexes exagérées.

J'ai mis à profit cette exagération pour obtenir des signes manifestes d'impressionnabilité de la Torpille à sa propre décharge. Voici l'expérience :

Je prends une Torpille bien vive sur laquelle j'enlève rapidement le cartilage qui forme la voûte crânienne. Je pratique une section transversale des centres nerveux immédiatement au-dessus du lobe électrique. Désormais l'animal n'épuise plus par des décharges volontaires la puissance de son appareil, et de plus il se trouve dans les conditions physiologiques où les actions réflexes sont exaltées. J'excite alors successivement chacun des nerfs électriques au moyen de pincements ou d'un courant faible provenant d'une bobine d'induction. A chaque excitation se produit la décharge du département de l'organe électrique correspondant au nerf excité. En même temps que

la décharge est accusée, soit par l'aiguille du galvanomètre, soit par le tressaillement d'une Grenouille, on observe des contractions plus ou moins vives des ailes de la Torpille, et quelquefois des battements de la queue.

En résumé, il faut penser, d'accord, je crois, avec tous les observateurs qui ont pratiqué des expériences sur les Poissons électriques, que ces poissons n'ont, par rapport aux décharges électriques, qu'une immunité relative, et qu'il faut ici, comme en physiologie générale, admettre, malgré les apparences, que les propriétés des tissus sont les mêmes chez tous les animaux, et que les venins ou les armes de nature quelconque, dont certaines espèces se servent d'une manière si terrible contre leurs ennemis, peuvent être retournés contre eux par l'homme qui aura analysé avec une attention suffisante les conditions essentielles de leur action. Pour ce qui est de l'immunité par rapport à la décharge, on doit d'une manière spéciale considérer que l'habitude, et l'habitude héréditairement transmise, de vivre en supportant de fréquentes décharges peut être invoquée comme une condition physiologique qui émousse le sentiment.

Action du curare sur la Torpille. — Je dois rappeler qu'il résulte des expériences de M. Claude Bernard, que le curare introduit dans l'économie détermine la perte de l'excitabilité des nerfs moteurs, et par suite la mort. En d'autres termes, si l'on empoisonne une Grenouille avec du curare, on voit les mouvements volontaires disparaître ; les muscles ont cependant conservé leur irritabilité, comme on s'en assure en les excitant directement. Ils répondent à l'excitation, tandis qu'ils ne se contractent pas si l'on excite les nerfs moteurs. Ajoutons que les nerfs sensitifs ne perdent point leur excitabilité comme les nerfs moteurs; on le prouve en arrêtant le cours du sang dans un membre. Le poison n'y pénètre pas, les nerfs moteurs de ce membre conservent leur vitalité, et si l'on pince un point quelconque du corps, la Grenouille empoisonnée ne réagit plus que par les muscles de ce membre préservé. Ce qui montre que les nerfs de sentiment et les centres nerveux sont restés intacts, même dans les parties du corps où le curare a circulé.

Si nous considérons maintenant la Torpille, nous remarquerons que les nerfs électriques, dont nous avons déjà parlé en établissant leur absolue insensibilité, sont des nerfs centrifuges, comme les nerfs moteurs. Il est intéressant de voir s'ils subissent comme les nerfs moteurs l'action du curare, et s'ils perdent leurs propriétés avant les autres nerfs.

J'ai pratiqué dans la veine dorsale de la Torpille l'injection d'une solution de curare. Le Poisson, remis dans l'eau, a continué à respirer et à nager pendant quelques instants, puis a cessé de nager et bientôt après de respirer. Plaçant alors sur le dos de ce Poisson plat plusieurs Grenouilles dont j'avais coupé le bulbe rachidien pour supprimer tout mouvement volontaire, j'ai pincé la Torpille sur les parties latérale et postérieure du corps. Aucun mouvement ne s'est manifesté dans le Poisson; mais au même instant toutes les Grenouilles ont bondi chacune de son côté.

Ainsi l'impression produite par le pincement a été transmise aux centres nerveux, et est revenue, par les nerfs qui animent l'organe électrique, déterminer une décharge, sans produire en aucun point du corps de mouvement réflexe.

Cette expérience a été répétée un grand nombre de fois, et toujours avec le même résultat. Elle n'exige d'autre précaution que celle de renouveler, environ toutes les cinq minutes, la Grenouille, dont les tissus perdent vite dans l'eau de mer leurs propriétés physiologiques.

Après ces essais, la Torpille est retirée de l'eau. L'abdomen étant ouvert, je soulève les nerfs volumineux situés à la face inférieure du cartilage qui limite en haut la cavité abdominale. J'excite avec un courant électrique ces nerfs composés de filets de sentiment et de filets moteurs : aucun mouvement ne se manifeste; mais l'organe électrique produit une décharge accusée par la Grenouille placée sur le Poisson, et par le galvanomètre mis, au moyen de fils de cuivre isolés, en communication avec deux plaques de platine reposant sur la face supérieure et la face inférieure de l'organe électrique. Ainsi cette excitation ne détermine aucun mouvement réflexe, ni même direct, c'est-

à-dire dû à la contraction des muscles animés par le nerf que l'on a excité; mais l'impression produite sur les nerfs du sentiment a été transmise par eux aux centres nerveux, et ceux-ci ont réagi sur les nerfs de l'organe électrique et produit la décharge par leur intermédiaire.

Enfin, je porte l'excitation sur une des branches du pneumogastrique qui vont animer l'organe électrique après avoir traversé les branchies; j'excite le nerf avant son entrée dans les branchies : j'obtiens à chaque excitation une décharge sans aucune contraction des muscles des branchies, tandis que sur une Torpille non curarisée l'excitation portée sur le même point du nerf détermine la contraction des muscles en même temps que la décharge. On voit donc que les filets moteurs sont atteints, tandis que les nerfs de l'organe électrique sont intacts.

Les expériences que je viens de citer, et que j'ai faites à Naples (1858) et à Palavas, près de Montpellier (1860), montrent que l'action du curare s'exerce d'abord sur les nerfs moteurs, et que les nerfs électriques conservent leurs propriétés physiologiques comme les nerfs du sentiment et les centres nerveux.

La période très-longue de l'empoisonnement, pendant laquelle les nerfs électriques survivent aux nerfs moteurs, apparaît d'autant plus tôt que la vitalité du Poisson est plus grande. Les doses employées étaient de 3 à 4 centimètres cubes d'une solution contenant 2 grammes de curare pour 100 grammes d'eau, pour des Torpilles de taille moyenne.

Analogie entre l'organe électrique et le muscle. — L'expérience que je viens de donner, dans laquelle on voit que le curare agit sur les nerfs moteurs avant d'agir sur les nerfs électriques, montre que dans ces conditions l'animal peut réagir contre les excitations du dehors par des décharges, quand il ne peut plus réagir par des mouvements.

Cette différence ne doit pas faire nier l'analogie qui existe entre le fonctionnement d'un muscle et le fonctionnement de l'organe électrique. Déjà notée, cette analogie est confirmée par les expériences qui suivent.

J'ai excité avec un courant électrique fréquemment inter-

rompu les nerfs de l'organe de la Torpille, et j'ai vu que cette excitation, faite avec peu d'énergie, mais poursuivie pendant longtemps, produit une série ininterrompue de décharges, dont l'intensité va sans cesse en diminuant. En rapprochant les excitations, on obtient des décharges assez rapprochées pour donner l'idée d'un courant électrique incessant s'échappant de l'organe, et rappeler l'état tétanique que l'on provoque dans le muscle par le même artifice.

Cette analogie devient plus frappante encore quand on soumet la Torpille à l'absorption de la strychnine.

J'ai injecté dans la veine dorsale de la Torpille une solution de chlorydrate de morphine, et j'ai vu se produire des décharges précipitées; l'état d'activité qui se manifeste alors a une telle analogie avec celui que l'on observe dans les muscles d'un animal strychnisé, qu'il est juste d'admettre pour l'organe électrique un véritable état tétanique.

De même que pour le muscle, le repos est la condition indispensable, appréciée par tous les observateurs, pour rendre à l'organe de la Torpille son énergie. On verra plus loin, à propos de la manière d'obtenir l'électricité captive dans un condensateur que j'ai noté avec soin, la précaution qu'il faut prendre de lier le plus tôt possible le nerf électrique qu'on doit appliquer plus tard sur les rhéophores, afin de donner le temps de se reposer à l'organe dont cette ligature provoque la décharge. J'ai noté aussi que les décharges inévitables que l'on provoque quand on dispose la Torpille pour faire parvenir l'électricité de la décharge dans un condensateur produisent un affaiblissement notable dans la puissance de l'organe, et obligent d'attendre de dix à vingt minutes le retour de cette puissance.

Celui qui étudie les conditions de la décharge doit donc connaître l'importance du repos de l'organe, et savoir qu'il se fatigue et s'épuise comme le muscle que l'on fait contracter. Dans le chapitre de critique expérimentale, on verra que j'ai mis à profit cette condition physiologique pour juger une des théories relatives à l'origine de l'électricité.

CHAPITRE II.

L ÉLECTRICITÉ DE LA TORPILLE PEUT ÊTRE RECUEILLIE DANS UN CONDENSATEUR

Je suis parvenu à recueillir l'électricité de la Torpille dans l'électroscope à feuilles d'or et dans un condensateur analogue à la bouteille de Leyde. La difficulté que présente cet isolement tient à ce que les tissus de la Torpille étant humides, on conduit vainement la décharge dans un appareil collecteur. L'électricité retourne aussitôt par le chemin qu'elle vient de parcourir, et l'équilibre se rétablit sur les tissus mêmes de la Torpille. Il est donc nécessaire de rompre toute communication entre la Torpille et l'appareil condensateur aussitôt après la décharge effectuée.

Si l'on veut mettre à profit la décharge volontaire de l'animal, on ne peut être prévenu et rompre à temps la communication. Cette difficulté peut être écartée, si l'on provoque la décharge en excitant directement un des nerfs de l'organe électrique, parce qu'on peut l'exciter à un moment voulu très-précis, et disposer les conducteurs de façon que le chemin que l'électricité suit pour arriver au condensateur soit rompu aussitôt que l'électricité a passé. Ces deux conditions, savoir : l'excitation instantanée du nerf de l'organe, le passage de la décharge sur un condensateur qui se trouve immédiatement après sans communication avec la Torpille, sont réalisées à la faveur de l'appareil que je vais décrire.

Description sommaire de l'appareil et precautions à prendre. — La figure que je joins à cette description, et qui représente le moment même de l'expérience (pl. 11), aidera, je pense, le lecteur à suivre sans peine ces détails. — Pour recueillir l'électricité sur l'organe de la Torpille, j'applique sur chacune des faces une plaque de platine très-mince, qui s'enroule par un de ses bords autour d'un fil de cuivre.

On a soin d'appliquer cette feuille de métal sur la portion de l'organe dans laquelle se distribue le nerf sur lequel porte l'excitation. Il y a quatre nerfs électriques, et comme il est bon en

général de les exciter successivement, il ne faut pas négliger de faire avancer la feuille de la face dorsale et la feuille de la face ventrale sur la région correspondante au nerf que l'on excite.

Pour engendrer un courant électrique destiné à exciter le nerf, je me sers d'un élément de pile de Bunsen qui sert à former dans une bobine d'induction le courant inducteur. Le courant induit qui en résulte est conduit directement au nerf que l'on va exciter. Ce courant peut être facilement gradué, parce que la bobine de fil induit est fixée sur un chariot qui glisse dans une rainure, et s'éloigne ou s'approche à volonté de la bobine inductrice.

Les deux fils portant le courant induit sont fixés au nerf avec soin. Il importe beaucoup que ce contact entre le nerf et les rhéophores soit intime; aussi j'ai soin de lier l'extrémité du nerf avec un fil que je fixe sur le support des rhéophores, afin de le tendre et d'assurer ainsi le contact avec les deux fils rigides de métal.

Il importe aussi beaucoup d'appliquer cette ligature sur le nerf au moment où l'on vient de sacrifier la Torpille, c'est-à-dire aussi longtemps que possible avant l'expérience. En effet, l'application d'une ligature détermine l'excitation du nerf, et conséquemment la décharge, après laquelle il faut un certain temps de repos pour que la faculté reparaisse avec une énergie suffisante.

L'interrupteur est formé de deux tiges métalliques A et B, parallèles; reliées entre elles par une tige isolante C, et pouvant décrire simultanément un arc de cercle autour d'une de leurs extrémités considérée comme centre. Les deux parallèles sont écartées avec force de la position dans laquelle elles établissent les communications. Au moment où tout est prêt, un ressort les chasse, et chacune d'elles décrit un petit arc de cercle. Dans cette course, la ligne A rencontre à frottement une surface métallique étroite *a*, qu'elle dépasse, ayant établi pendant un instant très-court le passage du courant allant d'un des pôles de l'élément de Bunsen à l'une des bornes de l'appareil d'induction où

se produit le courant induit excitateur du nerf. En même temps la tige B a rencontré une plaque métallique *b*, plus large de quelques millimètres que la plaque *a*. La tige B passe aussi à frottement et s'arrête au delà, ayant établi pendant un instant un chemin pour l'électricité entre l'organe de la Torpille et le condensateur.

On comprend que les phénomènes n'étant pas synchrones, il fallait que le passage de l'électricité de la Torpille pût se faire un peu après le passage du courant qui va exciter le nerf. La largeur plus grande donnée à la plaque *b* donne au contact de la tige B plus de durée et remplit cette condition.

Quant au temps que mettent les tiges parallèles A et B à décrire leurs arcs de cercle, il est comparable à celui que met le chien de fusil à s'abaisser quand on tire la gâchette.

L'électroscope condensateur à feuilles d'or est celui connu de tous les physiciens. Le condensateur à feuilles d'étain se compose de deux feuilles d'étain d'environ 5 mètres de longueur sur $0^m,80$ de largeur. La feuille inférieure repose sur une lame de gutta-percha; une autre lame de gutta-percha sépare les deux feuilles d'étain. Ces quatre feuilles très-minces, alternant ainsi, sont enroulées autour d'un bâton; les feuilles de gutta-percha, plus larges et plus longues que les feuilles d'étain, les débordent de tous côtés, afin d'empêcher la réunion des électricités; elles sont revêtues sur chacune de leurs faces d'un vernis à la gomme-laque.

Ce condensateur, moins connu que la bouteille de Leyde, a déjà été employé par MM. Fizeaux et Guillemin; il a pour nos recherches l'avantage, sur une bouteille de Leyde ordinaire, d'offrir une surface quinze cents fois plus grande, une lame isolante peu épaisse, et par cela même un pouvoir condensant considérable. Lorsqu'on fait communiquer les deux feuilles d'étain par un fil conducteur, le condensateur ne se décharge pas complétement; aussi ne faut-il pas oublier, avant de s'en servir, de vérifier s'il ne conserve pas encore des traces d'électricité provenant d'une charge antérieure.

Tout étant préparé, je fais l'expérience comme il suit : On

retire de l'eau une Torpille bien vive, en l'enlevant avec précaution par la queue, pour éviter de provoquer des décharges qui l'affaiblissent; on la pose dans un vase sans eau, et aussitôt, avec un scalpel, on fait deux incisions parallèles à l'axe du corps et de chaque côté de l'encéphale. Ces deux incisions profondes ont coupé rapidement tous les nerfs électriques du côté droit et du côté gauche. Désormais toute décharge volontaire est devenue impossible. L'opérateur n'a plus à craindre d'autre affaiblissement de la puissance de l'organe que celui qui surviendra par suite des décharges artificielles qu'il provoquera, et aussi par suite des lésions mortelles qu'il a déterminées. L'aptitude de l'organe à produire des décharges électriques est tout à fait comparable à la contractilité des muscles; et de même qu'un membre, ou le train postérieur d'une Grenouille, peut manifester encore plusieurs heures après la séparation du reste du corps les phénomènes d'activité vitale, de même l'organe électrique séparé de l'animal pourra encore pendant plusieurs heures offrir les phénomènes spéciaux qui dépendent de son activité vitale. Mais le scalpel, en divisant les tissus de la Torpille, a provoqué des décharges volontaires; et en supposant que l'incision des tissus ait été faite assez rapidement pour que la section des nerfs électriques ait été accomplie avant la production de ces décharges, cette section détermine à elle seule l'activité du nerf, et par suite le phénomène de la décharge.

Un affaiblissement notable dans la puissance de l'organe succède à ces décharges, et il convient, si l'on veut réussir dans les expériences que l'on tente, d'attendre quelque temps, de dix à vingt minutes environ, avant de provoquer une nouvelle décharge en excitant les nerfs électriques. Si l'on se hâtait, comme je le faisais dans mes premières expériences, d'exciter le nerf aussitôt que possible, environ deux à trois minutes après que la Torpille a été tirée de l'eau, on ne trouverait pas dans les appareils destinés à condenser l'électricité des quantités aussi notables que celles que l'on recueille après avoir attendu quelque temps.

Aussitôt après les deux incisions faites pour couper les nerfs électriques immédiatement après leur sortie du cartilage ver-

tébral, je pratique une section transversale à l'origine de la moelle. Tout mouvement volontaire est supprimé; j'enlève l'encéphale, afin de faire cesser toute douleur.

Un des nerfs électriques est disséqué avec soin dans l'épaisseur de la branchie et dans une étendue suffisante. La longueur du nerf isolé, et sur laquelle on peut porter l'excitation, peut être de 5 centimètres sur les grosses Torpilles; on fixe sur les rhéophores la portion du nerf la plus éloignée de l'organe, afin de ne pas avoir à redouter les courants dérivés.

Expériences avec l'électroscope à feuilles d'or. — Les plaques de platine étant appliquées, un des fils de cuivre, soit celui venant du ventre, est mis en communication directe avec le sol humide, l'autre va se fixer dans la borne *b'* de la tige B de l'interrupteur. La borne *b* se continue par un fil de cuivre jusqu'au plateau supérieur de l'électroscope condensateur.

L'excitation du nerf se fera au moment où le ressort sera lâché: en effet, un des pôles de l'élément de Bunsen se joint par un fil direct à la machine d'induction; mais dans le trajet du fil qui unit l'autre pôle à la bobine inductrice est placée la tige A de l'interrupteur, et le circuit ne sera fermé que quand le ressort agira.

Nous supposons le ressort tendu d'avance; un aide applique le doigt humide sous le plateau inférieur de l'électroscope, et, pendant que le doigt reste appliqué, l'opérateur lâche le ressort. Un instant après, l'aide retire le doigt, puis enlève avec la main le plateau supérieur : *les feuilles d'or divergent*. On comprend ce qui s'est passé. Disons-le en quelques mots : Au moment où le ressort a été lâché, il a chassé la tige A, qui, dans sa course, a rencontré la plaque métallique de la borne *a'*, et a permis au courant de l'élément de Bunsen de passer. Ce courant a déterminé la formation d'un courant dans la bobine inductive, et par suite dans les rhéophores qui compriment le nerf. Celui-ci, excité, a déterminé la décharge de l'organe, qui, recueillie par les plaques de platine, a été en suivant un des fils dans la terre, et en suivant l'autre fil dans le plateau supérieur du condensateur. Ce dernier fil a passé à travers l'interrupteur; or, le contact de

la tige B avec la plaque métallique *b* a duré un peu plus longtemps que le contact de la tige A avec la plaque *a*, à cause de la largeur plus grande donnée à la plaque *b*. Dès lors la décharge due à l'excitation du nerf par le courant passant par la tige A a pu passer par la tige B; mais comme le contact est excessivement court, l'électricité recueillie sur le condensateur n'était pas encore revenue par le fil *b* vers les tissus humides de la Torpille, que déjà la plaque *b* était dépassée et le chemin rompu. Le plateau supérieur forme avec le fil *b* et la borne B un système tout à fait isolé. L'aide a d'abord retiré le doigt humide appliqué sous le plateau inférieur; puis il a enlevé, à l'aide du manche isolant, le plateau supérieur de l'électroscope condensateur; *aussitôt on a vu les feuilles d'or diverger.*

Dans l'expérience que nous venons de décrire, la face ventrale de la Torpille avait été mise en rapport avec le sol, la face dorsale, au contraire, avec le plateau supérieur de l'électroscope condensateur.

On reconnaît par les procédés ordinaires que les feuilles d'or sont alors chargées d'électricité négative. La face dorsale de la Torpille avait donc fourni de l'électricité positive au plateau supérieur de l'électroscope; au contraire, quand on fait communiquer la face dorsale avec le sol et la face ventrale avec le plateau supérieur, on constate que les feuilles d'or se chargent d'électricité positive, et par conséquent que la face ventrale avait cédé au plateau supérieur de l'électricité négative.

L'angle que font les feuilles d'or atteint quelquefois 180 degrés. On est toujours maître d'obtenir une divergence moindre, l'intensité des décharges diminuant à chaque épreuve. Cette diminution graduelle de l'écartement des feuilles d'or pour une excitation toujours la même, et faite après des intervalles de temps égaux entre eux et suffisamment longs, donne une mesure très-nette de la diminution d'intensité d'une propriété vitale. La diminution graduelle de la force contractile du muscle a déjà été appréciée souvent par les physiologistes.

Expériences avec le condensateur à large surface. — La disposition de l'expérience est celle que nous avons décrite pour

l'expérience précédente, avec cette différence seulement que l'une des faces de l'organe électrique qui était en communication avec la terre est mise en communication directe avec une des feuilles d'étain; l'autre face étant d'ailleurs en rapport avec l'autre feuille d'étain par la tige B de l'interrupteur.

Pour décharger le condensateur, je me sers d'un commutateur ordinaire qui communique, soit avec un galvanomètre, soit avec les nerfs d'une Grenouille galvanoscopique.

Tout étant disposé, le ressort de l'interrupteur étant tendu, on le lâche; le nerf de la Torpille est excité; la décharge a lieu: une partie passe par la tige B de l'interrupteur, et cette tige, dans sa course rapide, quittant aussitôt la plaque de cuivre, la continuité est rompue, et les deux feuilles d'étain conservent l'électricité qu'elles ont reçue.

J'attends quelques instants, et je fais communiquer les feuilles chargées du condensateur avec le galvanomètre ou la Grenouille galvanoscopique, à l'aide du commutateur, mis lui-même préalablement en rapport avec ces feuilles.

Quand j'ai mis le galvanomètre dans le circuit, je n'ai pas obtenu de déviation; mais je pense, comme les physiciens qui ont été témoins de cette expérience, que ce résultat négatif est dû au défaut de délicatesse du galvanomètre que j'avais alors à ma disposition. Lorsqu'au contraire je me suis servi d'une Grenouille galvanoscopique, j'ai obtenu une contraction énergique du train postérieur.

Parmi les témoins de ces expériences, je dois citer M. Debray, professeur de physique au lycée Charlemagne; M. Drion, professeur de physique à la Faculté de Besançon; M. Wolf, professeur de physique à la Faculté des sciences de Montpellier.

L'électricité recueillie dans le condensateur vient-elle réellement de la Torpille? — On peut penser qu'en excitant le nerf électrique au moyen d'un courant électrique, il se produit une dérivation de ce courant sur les tissus humides de la Torpille, et que ce courant se propage sur les plaques de platine et les conducteurs métalliques jusque dans les appareils condensateurs; et qu'ainsi l'électricité dont on constate la présence dans le

condensateur dérive de la source artificielle qui excite le nerf, et non pas de l'organe même de la Torpille.

Il est évident que, si les extrémités libres des rhéophores qui apportent le courant excitateur sont appliquées sur les surfaces mêmes de l'organe de la Torpille, il pourra se produire, outre le courant qui va par la voie la plus directe de l'un des rhéophores à l'autre, des courants dérivés qui, rencontrant les plaques de platine, se porteront sur le condensateur. Mais en sera-t-il de même si les rhéophores sont appliqués sur les nerfs électriques disséqués et tenus éloignés de l'organe électrique, auquel ils ne touchent que par le point où ils pénètrent dans son épaisseur? Si nous considérons que ces nerfs peuvent être, chez des Torpilles de grande taille, disséqués depuis leur point d'émergence des centres jusqu'à leur point d'entrée dans l'organe électrique, sur une longueur de 4 et 5 centimètres, et que les rhéophores doivent être appliqués sur le point le plus distant de l'organe, la crainte de produire des courants dérivés sur l'organe, et par suite sur les condensateurs, diminuera. Mais pour avoir une assurance complète, il faut, comme je l'ai fait, montrer par des expériences directes que cette cause d'erreur ne saurait infirmer les résultats obtenus.

Pour écarter l'objection, j'ai fait les expériences suivantes :

L'organe de la Torpille étant placé comme d'ordinaire sur une table, et les deux plaques de platine appliquées sur ses deux faces étant en communication directe avec le galvanomètre, un commutateur est placé entre la Torpille et le galvanomètre, un autre est placé entre la Torpille et la source artificielle d'électricité. Je fais passer un courant excitateur sur le nerf, et constate le sens de la déviation de l'aiguille du galvanomètre; puis, à l'aide du commutateur placé au-dessus du nerf de la Torpille, j'intervertis les pôles des rhéophores qui touchent le nerf de la Torpille; je fais passer encore un courant, et constate que l'aiguille du galvanomètre se dévie toujours dans le même sens.

Si l'on supposait que la déviation de l'aiguille est due à un courant direct provenant des rhéophores qui excitent le nerf, il

est évident qu'en changeant le sens du courant excitateur, on intervertirait aussi le sens du courant dérivé, et par suite on changerait le sens de la déviation de l'aiguille du galvanomètre. Or il n'en est rien; l'aiguille se dévie toujours dans le même sens, quel que soit le sens du courant appliqué au nerf. Au contraire, si, à l'aide du commutateur placé entre la Torpille et le galvanomètre, on change le sens du courant venant de la Torpille, l'aiguille du galvanomètre se dévie dans un sens différent à chaque interversion.

D'autres preuves peuvent être tirées des expériences suivantes :

Si nous considérons que la quantité d'électricité capable de produire l'extension brusque de la Grenouille galvanoscopique, lorsqu'on décharge le condensateur à feuilles d'étain sur ses nerfs, peut être excessivement faible, on doit se demander encore si un courant très-faible, qui passerait à travers l'interrupteur dans le condensateur, n'y laisserait pas une quantité d'électricité suffisante pour produire l'excitation des nerfs de la Grenouille. Or la face dorsale et la face ventrale de la Torpille ne sont jamais dans un état d'équilibre parfait; et il existe habituellement un courant très-faible, que l'on peut constater même sur des points qui ne correspondent pas à l'organe électrique. J'ai voulu voir si ce faible courant pouvait à lui seul laisser une trace d'électricité dans le condensateur. J'ai donc appliqué sur chacune des faces de l'organe une feuille de platine, que j'ai mise en communication avec les feuilles d'étain, par des fils de communication passant par la branche B de l'interrupteur (il n'y avait point d'excitation portée sur le nerf électrique); puis j'ai lâché le ressort, et déchargeant aussitôt le condensateur sur la Grenouille galvanoscopique, j'ai constaté l'absence d'excitation, et par conséquent l'absence d'électricité dans le condensateur.

Ainsi le courant qui peut s'établir lorsqu'on applique les lames de platine sur les deux faces de l'organe n'a pu charger le condensateur, de manière à agir sur la Grenouille; et nous admettrons donc que les charges électriques manifestes obtenues

dans le condensateur étaient dues à la décharge de l'organe provoquée par l'excitation du nerf.

CHAPITRE III.

CRITIQUE EXPÉRIMENTALE.

Sans exposer les objections qui peuvent, dans l'état actuel de nos connaissances, être opposées aux théories relatives à la formation de l'électricité de la Torpille, je décrirai les expériences que j'ai faites en me plaçant au point de vue des auteurs de ces théories, c'est-à-dire en les considérant comme justes; mais en même temps en invoquant l'expérience comme l'argument souverain sans lequel la théorie la plus vraisemblable ne peut être considérée comme établie, et sans lequel la plus invraisemblable ne peut être absolument rejetée.

Théorie assimilant l'organe à un condensateur qui reçoit l'électricité des centres nerveux. — On trouve dans un mémoire de M. Matteucci ayant pour titre : *Recherches physiques, chimiques et physiologiques sur la Torpille* (*Annales de chimie et de physique*, 1837, t. LXVI, p. 426), les conclusions suivantes :

1° L'élément nécessaire à la décharge électrique de la Torpille et à la direction de cette décharge est produit par le dernier lobe du cerveau et transmis par les nerfs dans la substance de l'organe.

2° Il en résulte que ce n'est pas dans l'organe et par l'organe que cet élément est préparé.

Ainsi, dans cette manière de voir, l'organe électrique reçoit des centres nerveux l'élément formateur de l'électricité ou même l'électricité elle-même, qu'il conserve jusqu'au moment de la décharge.

La présence dans les centres nerveux d'un lobe d'une forme spéciale, situé à l'origine des nerfs principaux qui vont se distribuer à l'organe électrique, le volume énorme de ces nerfs, pourraient jusqu'à un certain point donner à cette hypothèse quelque raison d'être. Mais l'expérience que voici montre clairement qu'elle est inadmissible.

J'ai coupé sur une Torpille tous les nerfs qui se rendent à un des appareils électriques, et, en excitant au moyen d'un faible courant l'extrémité périphérique des nerfs ainsi coupés, j'ai déterminé des décharges répétées et de plus en plus faibles. Après avoir ainsi épuisé l'organe et bien constaté que l'on ne pouvait plus obtenir de décharges, même très-faibles, j'ai replacé la Torpille dans l'eau de mer. Au bout de quelques heures le Poisson fut repris, et les nerfs excités de nouveau. J'obtins, en agissant sur l'extrémité périphérique des nerfs coupés, des décharges fortes et répétées. J'excitai comparativement les nerfs du côté opposé, nerfs qui n'avaient pas été coupés d'avance, et j'obtins des décharges qui ne dépassaient pas en intensité d'une manière sensible celles du côté coupé.

On doit conclure de cette expérience que l'électricité de la décharge n'a pas été formée dans les centres nerveux et portée ensuite à l'organe par les nerfs, puisque ces conducteurs supposés ont été détruits.

L'organe électrique est donc, dans sa fonction, indépendant des centres nerveux au même titre que le muscle l'est lui-même dans le phénomène de la contraction.

Je dois citer ici une observation que je trouve dans le *Traité d'électro-physiologie* de Matteucci (1844, p. 172), où l'auteur dit avoir obtenu des décharges indifféremment dirigées du dos au bas du ventre ou du ventre au dos, à l'occasion de piqûres faites dans le lobe électrique. Mais dans l'édition de 1858 (p. 76 et 77), M. Matteucci déclare lui-même n'avoir pu reproduire ce fait; il convient de n'y pas insister, et d'admettre que c'est un fait inexact qui s'était glissé dans la première édition de son ouvrage.

Je dirai à cette occasion que le sens de la décharge a toujours été le même dans tous les essais que j'ai faits pour juger ce point, et je n'hésite pas à rejeter complétement, comme l'auteur invite lui-même à le faire, la proposition du *Traité d'électro-physiologie* de 1844, d'après laquelle on obtiendrait des décharges indifférentes dirigées du dos au bas-ventre ou réciproquement, à l'occasion de piqûres faites dans les centres nerveux.

Théorie dans laquelle l'organe électrique est considéré comme capable d'agir sans le nerf. — Nous savons que la contraction des muscles peut se produire indépendamment de l'excitation du nerf. On peut se demander si l'organe électrique qui, dans les conditions normales de sa fonction, est, comme le muscle dans la sienne, mis en activité par l'influence du nerf, peut aussi manifester son activité, indépendamment de l'excitation du nerf.

J'ai cité plus haut les résultats que m'ont donnés les expériences dans lesquelles je soumettais la Torpille à l'action du curare.

J'avais en vue, dans ces expériences, d'anéantir le nerf en laissant subsister l'organe, et de provoquer la décharge par un courant électrique, comme on provoque la contraction musculaire sur une Grenouille curarisée; mais la persistance de l'excitabilité des nerfs électriques est venue gêner ce projet, sur lequel je reviendrai. On peut poursuivre le même problème en utilisant la remarque suivante. J'ai soumis des Torpilles à l'influence de bains d'eau chaude, et constaté que vers 45 degrés les excitations portées sur les nerfs électriques ne donnaient plus lieu à aucune décharge. De même qu'avec le curare qui agit en laissant survivre les muscles aux nerfs moteurs, il se peut que la chaleur ou quelque autre agent laisse survivre l'organe électrique aux nerfs qui s'y jettent. Dans ce cas, l'expérience fournirait une analogie nouvelle entre la fonction de cet organe et celle du muscle.

Ce sont des points que je dois ultérieurement reprendre. Je dois, à propos de cette théorie, rappeler ce que j'ai dit au commencement de ce chapitre. Une théorie est quelquefois déclarée inacceptable sur son simple énoncé, et je pense que celle que je formule ici sera ainsi jugée par quelques auteurs qui se sont déjà prononcés sur le rôle des nerfs. On lit en effet, dans un article du professeur Ch. Rouget sur l'appareil électrique de la Torpille, la phrase suivante : « Comme l'indiquait déjà Kölliker » en 1857, les nerfs eux-mêmes sont la seule source de l'élec» tricité de l'organe électrique de la Torpille. » (*Comptes rendus de l'Académie des sciences*, t. LXXXIII, p. 830.)

Mais mon but dans les recherches que j'ai faites, et dont je donne ici les résultats, a été de trouver des faits, et pour cela d'accepter des hypothèses, soit déjà formulées dans les auteurs, soit nouvelles.

Dans un sujet obscur comme celui-ci, il est permis de tout supposer pour mieux chercher ; qu'il me suffise de prévenir le lecteur, comme je le fais ici, que les théories que j'avance sont autant d'hypothèses.

Expériences relatives à la théorie qui assimile l'organe électrique à une pile. — Une autre manière de concevoir la production de l'électricité dans l'appareil de la Torpille consiste à considérer l'organe non plus comme un condensateur, mais comme agissant à la manière d'une pile, et par conséquent la décharge électrique comme un phénomène lié à une réaction chimique.

Cette théorie suppose une sécrétion se faisant instantanément sous l'influence nerveuse dans tous les points de l'appareil. La circulation du sang étant une des conditions les plus indispensables à toute sécrétion, j'ai réalisé l'expérience suivante en vue de voir quel était son rôle dans la fonction électrique.

Sur une Torpille vivante, j'ai cherché en arrière de l'estomac le vaisseau dorsal, et j'ai injecté dans ce vaisseau du suif, maintenu liquide à la faveur d'une température convenable et d'une petite quantité d'essence de térébenthine. La Torpille a péri aussitôt; l'injection, poussée du côté des branchies, a rempli toutes les artères de l'organe électrique, et s'y est lentement solidifiée par le refroidissement. J'ai ensuite excité les nerfs de l'organe, et j'ai obtenu des décharges manifestes.

Il est évident que dans des vaisseaux remplis de suif solide, il n'y a pas de circulation, et que les phénomènes d'exosmose ne peuvent avoir lieu; tandis qu'on pourrait penser qu'ils se produisent encore dans l'expérience qui consiste à obtenir la décharge en excitant le nerf d'un morceau de l'organe électrique détaché de l'animal.

Il est donc établi que le sang qui circule dans l'organe électrique n'est pas immédiatement nécessaire au phénomène de la décharge électrique.

J'ai supposé ensuite qu'une sécrétion pouvait encore se faire sous l'influence nerveuse, aux dépens des éléments liquides renfermés dans le tissu lui-même; de même que l'on voit, dans des instants très-courts, il est vrai, la sécrétion de la glande sous-maxillaire se produire encore quand on galvanise le filet nerveux qui part du lingual après la ligature de l'artère de la glande, et pensant que les réactions chimiques devaient se faire dans des milieux acides ou alcalins, j'espérais que l'expérience suivante me fournirait une indication importante relativement à la nature chimique des liquides mis en présence et dont les réactions sont liées dans cette hypothèse au dégagement de l'électricité.

Je sacrifie des Torpilles de grande taille, en enlevant rapidement les centres nerveux; puis, ayant disséqué la peau de la face dorsale et rendu ainsi les prismes très-apparents, je transperce successivement, et sans en passer un seul, chacun des cinquante prismes les plus voisins de l'abdomen : ce sont les plus gros de l'organe. Quand ils sont ainsi tous transpercés suivant leur axe par un poinçon, je fais passer successivement dans chacun d'eux un courant d'eau fortement acidifiée par l'acide sulfurique, puis je coupe l'organe de façon à ne conserver que le fragment composé des prismes ainsi traversés par l'acide.

Le nerf qui anime cette portion de l'organe a été respecté; je l'excite alors, et je constate que la décharge se produit toujours.

Dans d'autres expériences, je fais traverser les prismes par un courant d'eau rendue très-alcaline au moyen d'une solution de potasse, et je constate encore que les décharges ont lieu, comme auparavant. Je me suis toujours assuré, au moyen de différentes sections faites dans l'organe, qu'en tous les points le papier bleu de tournesol était fortement rougi et le papier rouge fortement bleui, suivant que les prismes avaient été imbibés par l'acide sulfurique ou par la potasse. Ces expériences prouvent que le milieu dans lequel se font les réactions chimiques, causes prochaines supposées de la décharge, peut être indifféremment

très-acide ou très-alcalin, sans que ce phénomène fasse défaut. Il est nécessaire de prendre l'acide ou l'alcali dont on se sert à un degré de concentration capable de réagir fortement sur le papier de tournesol, mais cependant bien loin encore du maximum de concentration.

J'ai substitué à l'acide sulfurique l'acide nitrique, même très-étendu. J'ai cessé immédiatement d'obtenir la décharge; l'aspect opalin que prend alors l'appareil m'a fait penser que la coagulation de l'albumine était la cause de ce phénomène, et non la nature acide du liquide. L'alcool et le tannin, qui tous deux coagulent l'albumine, m'ont en effet donné le même résultat. L'état physique du milieu est donc plus important pour sa fonction que la réaction chimique, acide ou alcaline.

On voit par toutes ces expériences que le milieu dans lequel se fait le dégagement de l'électricité peut être rendu acide, alcalin ou laissé sensiblement neutre, sans que la formation électrique disparaisse.

Tels sont les résultats que j'ai obtenus en cherchant à vérifier des théories qui s'offraient à l'esprit avec quelques signes de possibilité.

Il est impossible d'admettre que l'électricité se forme dans les centres nerveux et soit portée par les nerfs dans l'organe électrique qui la condenserait. En effet, dans l'expérience que j'ai décrite, les nerfs ont été tous coupés, l'organe épuisé et pour ainsi dire vidé de toute électricité, et après quelques heures de repos ce même organe a fourni des décharges aussi fortes que celui qui conservait intactes ses communications nerveuses avec les centres nerveux.

Peut-on être aussi absolu relativement à la théorie qui assimile l'organisme à une pile, et dire : le courant électrique manifesté par l'organe n'est pas lié à des réactions chimiques ? Je ne le crois pas; mais le physiologiste qui reproduira ces expériences et qui verra par ses yeux que tous les points de l'organe ont une réaction franchement acide dans un cas, franchement alcaline dans l'autre, et que sous ce rapport les milieux chimiques ont été rendus profondément dissemblables, sans que la fonction

ait cessé d'être la même, le physiologiste qui verra toute circulation rendue impossible par la solidification du suif injecté dans les vaisseaux, trouvera sans doute dans la persistance de la fonction une raison propre à le faire douter de la valeur d'une théorie qui suppose une sécrétion, se produisant subitement à l'occasion d'une action nerveuse dans l'organe de la Torpille, et donnant lieu à une réaction chimique, cause prochaine du courant comme dans la pile hydro-électrique.

Les effets des machines d'induction ont, avec les décharges de la Torpille, une analogie assez grande pour que l'on puisse songer à chercher un rapprochement qui expliquerait la décharge de l'animal en l'assimilant à celle des appareils d'induction. Je n'ai fait aucune expérience sur cette question, mais si l'on considère que, dans un appareil d'induction, le courant induit suppose un appareil inducteur, et que le constructeur a toujours soin d'employer des substances douées d'un pouvoir isolant très-intense, on sera immédiatement arrêté dans ce rapprochement, en remarquant que tous les tissus de l'organe de la Torpille sont pénétrés de liquides conducteurs.

En résumé, l'étude des décharges électriques de la Torpille nous montre d'une manière frappante que les phénomènes en apparence les plus simples, les plus facilement réductibles à des conditions observées dans le monde inorganique, tels que le courant électrique, peuvent se présenter dans les organismes vivants avec des conditions particulièrement difficiles à analyser et aujourd'hui encore enveloppées d'obscurité.

Nous n'en devons faire que plus d'efforts pour mettre à profit dans ces analyses difficiles les ressources que les chimistes et les physiciens nous offrent chaque jour plus nombreuses. Ainsi donc, après avoir tenté de rapporter aux théories des appareils de physique connus les phénomènes de la décharge de la Torpille, si l'on arrive en multipliant les faits à trouver qu'elles sont inacceptables, comme tendent à le montrer déjà les faits que j'apporte, on se trouvera conduit à rapporter le phénomène en question à un procédé spécial, je veux dire à des conditions qui ne se rencontrent pas en dehors du monde organique et

que réalise la Torpille; il restera encore à chercher dans ce procédé organique spécial, de même qu'on le fait pour les ferments qui jouent un rôle physiologique si important, des conditions physico-chimiques qui soient en rapport avec le phénomène de la décharge. J'admets en effet que tout phénomène d'un certain ordre doit être rapporté à des conditions du même ordre. — *Chimica chimicè*, — *Physica physicè tractanda.*

La décharge de la Torpille est un phénomène physique, ce n'est point parce qu'il se passe dans l'organisme que l'on serait autorisé à lui supposer des causes prochaines autres que les conditions physico-chimiques. Le rôle de l'organisme est de réaliser ces conditions, et, je le répète, il paraît ici, comme dans la formation des ferments, les réaliser d'une manière tout à fait différente de celles que nous rencontrons ou que nous savons produire en dehors des organismes, et qui donnent lieu à des courants électriques qui, pris en eux-mêmes et indépendamment de leur origine, sont absolument de même nature.

NOTA. — La plus grande partie des expériences que je donne ici a déjà été publiée par moi dans les *Annales des sciences naturelles*, 1862, 4e série, t. XVIII. La *Revue des cours scientifiques*, 1866, p. 722, a publié une leçon sur les Poissons électriques, où j'ai donné quelques-uns des faits que je reproduis ici.

EXPÉRIENCES

SUR L'INTESTIN

ACTION

DU

SULFATE DE MAGNÉSIE

PLACÉ DANS UNE ANSE INTESTINALE

Dans les expériences qui suivent j'ai mis en pratique le procédé suivant dont la description ainsi mise à part me permettra de rendre ma rédaction plus brève.

Sur un chien à jeun et chloroformé, je pratique une incision le long de la ligne blanche; j'attire en écartant l'épiploon une anse de l'intestin grêle de 15 à 20 centimètres de longueur que je ferme par deux ligatures convenablement serrées, puis à l'aide d'un trocart fin dirigé obliquement dans l'épaisseur des parois, j'injecte dans cette anse une solution titrée. La plaie est recousue et l'animal détaché. Quand il se réveille il regagne à pied sa loge sans paraître éprouver d'autres effets que ceux qui appartiennent à l'ivresse du chloroforme, plus tard il est sacrifié d'une manière instantanée par l'insufflation de l'air dans les veines ou par la section du bulbe et l'anse est examinée. Ainsi dans des conditions normales, j'ai injecté dans une anse de l'intestin grêle d'un chien à jeun 20 centimètres cubes d'eau contenant un cinquième de son poids de sulfate de magnésie.

Le tableau suivant montre quelles ont été les quantités de liquide trouvées dans l'anse intestinale qui avait reçu la solution saline; le temps écoulé entre l'injection dans l'anse et l'examen est indiqué.

TABLEAU *des quantités de liquide recueillies dans une anse d'intestin après l'injection d'une quantité connue d'une solution de sulfate de magnésie au cinquième pendant un temps connu.*

Dates.	Quantités de solution injectées.	Temps écoulé.	Quantités de liquide trouvées.
	cc	h.	cc
1er juin 1870.....	20	6	70
23 juillet 1868....	30	6	74
27 août 1868.....	30	21	92
31 décembre 1868.	20	5	125
14 juin 1870.....	20	22	130
15 juin 1869.....	20	22	166
17 juin 1869.....	20	19	200
12 juin 1868.....	35	16	275
2 juin 1870.....	20	24	335

L'examen de ce tableau dans lequel j'ai placé les faits dans l'ordre des quantités croissantes de liquides recueillies montre d'une manière générale que ces quantités peuvent être considérées comme croissant en raison du temps écoulé et en raison de la quantité de solution saline injectée dans l'anse intestinale.

Cependant cette proportionnalité n'est pas toujours vérifiée, et on ne doit pas s'en étonner quand on songe que les animaux ne sont pas identiques entre eux, qu'outre leurs différences d'âge, de poids, de vigueur, de race, etc., qui à la rigueur pourraient être notées, il peut y avoir des différences individuelles bien difficiles à apprécier. On doit songer surtout que toute anse intestinale est le siége de phénomènes d'absorption qui alternent avec les phénomènes de sécrétion, ou de production des liquides. Je rappellerai à ce sujet une expérience de M. Claude Bernard, expérience propre à montrer dans un cas particulier ce qui est généralement vrai dans les organes qui peuvent être le théâtre de phénomènes d'absorption, de sécrétion. M. Claude Bernard galvanise la corde du tympan sur un chien dont le canal de Warthon est mis à nu et reçoit un tube par lequel on injecte une solution de strychnine. Tant que dure l'excitation du nerf la salive est sécrétée et l'absorption ne se fait pas. Vient-on à cesser l'excitation du nerf sécréteur, aussitôt apparaissent les convulsions générales et tous les symptômes

qui accusent l'absorption de la strychnine. Ainsi les phénomènes d'absorption et de sécrétion se succèdent, mais ne sont pas simultanés; l'intestin est plus qu'aucun autre organe un lieu d'absorption et de sécrétion, et les liquides qui sont pour ainsi dire versés par les parois dans la cavité intestinale sont plus tard repris et absorbés.

On voit en effet que l'intestin dans l'état normal absorbe les liquides mêmes qu'il a sécrétés. Ainsi, quand on considère le canal digestif d'un animal qui est en digestion, les parties supérieures de l'intestin contiennent des liquides en abondance qui sont en partie au moins constitués par les liquides que fournissent les glandes nombreuses de cette région; mais à mesure que l'on examine l'intestin dans une région plus avancée, on trouve que les liquides diminuent, il arrive même que dans le gros intestin ils ont disparu.

L'expérience suivante montre qu'il en est de même quand il s'agit de liquides amenés par la présence de sulfate de magnésie.

Le 2 juin 1870, un grand chien blanc, jeune, dont l'iris du côté droit était blanc, est chloroformé et reçoit 20 centim. cubes de la solution de sulfate de magnésie au cinquième dans une anse intestinale; vingt-quatre heures après il est endormi de nouveau; la plaie est rouverte, l'anse est ponctionnée et fournit 335 centimètres cubes de liquide abondant en cellules épithéliales.

30 centim. cubes de ce liquide sont placés dans l'anse intestinale vide d'un autre chien. Le lendemain l'anse est examinée et trouvée vide ou plutôt ne contenant que 2 à 3 centim. cubes d'une bouillie jaunâtre, épaisse, coulant difficilement par un large trocart. Cette anse est à 30 centimètres au-dessus du cæcum.

Les liquides qui se produisaient dans l'anse du premier chien sont donc repris et absorbés dans l'anse du second chien qui n'est pas comme le premier, ni comme la glande sous-maxillaire pendant la galvanisation de la corde du tympan dans l'état d'activité spéciale pendant lequel les liquides sont versés à l'intérieur de l'intestin.

Nous voyons par cette expérience que tel liquide qui se trouve dans une anse intestinale est repris par l'intestin.

Si on montre que, en outre, l'anse qui les a produites peut les reprendre, on sera conduit à de nouvelles réflexions.

Dans l'expérience du 23 juillet 1868, 30 centim. cubes de la solution ordinaire de sulfate de magnésie ont été injectés dans une anse d'intestin de chien; on examina six heures après cette anse, elle contenait 74 centim. cubes d'un liquide reconnu plus clair et moins riche en globules de pus que les liquides recueillis habituellement après un séjour plus prolongé de la solution dans l'anse.

Dans l'expérience du 20 mai 1870, 20 centim. cubes de la solution ordinaire sont mis dans l'anse intestinale d'une chienne. Vingt heures plus tard on trouve dans cette anse 50 centim. cubes d'un liquide très-chargé de globules blancs Dans cette dernière expérience l'abondance des globules blancs qui ne sont pas résorbés comme les parties liquides, la durée prolongée pendant vingt heures, enfin la faible quantité de liquide font penser que le mouvement d'absorption des liquides s'est prononcé avant l'examen et que l'on n'a recueilli qu'une quantité de liquides inférieure à celle qui à un moment moins éloigné du début de l'expérience distendait l'anse.

Dans l'expérience qui précède, au contraire, la quantité 74 centim. cubes était trop faible en la comparant aux quantités que 30 centim. cubes de la solution ordinaire séjournant plus longtemps ont fourni sur d'autres animaux. On doit penser que pour ce chien le moment où la quantité de liquide est maximum n'était pas encore atteint. Le moment où l'absorption des liquides contenus dans une anse intestinale succède à la sécrétion de ces liquides est un moment difficile à préciser. Il est utile, je crois, d'en faire la remarque, car on s'expose à des évaluations très-inexactes, si on ne supprime cette cause d'erreur. Le fait suivant montrera encore que l'appréciation de ce moment offre des difficultés nombreuses.

Le grand chien blanc (avec un iris blanc), sujet de l'expérience du 2 juin 1870, déjà cité, fournit 335 centim. cubes de

liquide. On le recueillit, et on préleva 30 centim. cubes pour être injectés dans l'anse d'un autre chien, comme il a été dit. Et, en outre, 30 centim. cubes pour être replacés dans l'anse qui les avait fournis. Le chien était en très-bon état. L'opération fut faite avec un trocart fin comme il convient; et la plaie, qui avait été faite à l'anse avec un fort trocart pour donner complétement issue au liquide contenu, fut fermée par une ligature et isolée. Le lendemain, vingt-cinq heures après, l'anse contenait 100 centim. cubes de liquide. Il y avait donc eu continuation des phénomènes de production des liquides. Il faut donc admettre une prolongation de l'action dans cette anse, prolongation au delà de vingt-quatre heures, ou une excitabilité qui se révèle en présence d'un liquide qui sur l'anse normale d'un autre chien ne produit point le même effet, et disparaît par absorption.

Pour résumer ce qui résulte des expériences citées, la présence dans l'anse intestinale d'un chien d'une solution de sulfate de magnésie au cinquième, provoque l'afflux des liquides en quantités notables dans les conditions ordinaires.

Ce résultat, qui est d'accord avec les idées reçues de tout temps sur l'action des sels purgatifs, est nié cependant par quelques auteurs modernes qui appuient leur manière de voir sur des expériences faites sur le chien.

J'ai cru nécessaire de refaire leurs expériences, et je pense que l'on verra avec intérêt que leurs expériences mêmes qui paraissaient renverser les idées reçues, peuvent servir à les confirmer. En d'autres termes, on verra que les faits sur lesquels les auteurs que je vais citer s'appuyaient pour combattre les idées admises n'étaient point des faits scientifiques, parce que les conditions qu'ils avaient voulu réaliser n'étaient point réalisées, certaines précautions qui paraissaient inutiles à prendre dans les opérations étant indispensables; on verra que les faits doivent être définis tout autrement qu'ils l'ont été par ces auteurs, et qu'ils rentrent finalement dans les idées reçues.

Parmi les mémoires allemands qui ont rapport à la question que j'examine, je citerai d'abord celui de Thiry.

Le travail qui a pour titre : *Uber eine neue Methode, den Dunndarm zu isoliren von Dr L. Thiry (mit 1 Tafel), (vorgelegt in der Sitzung d. Kaiser. Akad. d. Wissenschaften, am 25 Februar* 1864), donne la description d'une opération désignée souvent dans les ouvrages allemands sous le nom de *Fistule de Thiry*.

C'est un procédé imaginé pour recueillir du suc intestinal, et qui peut être utile dans l'étude de quelques points de physiologie. Voici en quoi il consiste :

Par une plaie faite à la paroi abdominale, l'opérateur attire l'intestin ; il prend une anse d'une longueur de 20 centimètres plus ou moins, et la coupe de façon à l'isoler du reste de l'intestin. Il réunit le bout libre du fragment supérieur de l'intestin avec le bout libre du fragment inférieur, de façon à rétablir la continuité du canal.

Passant ensuite à l'anse formée par la double section de l'intestin, il oblitère le bout supérieur en accolant les membranes séreuses retournées dans la cavité, de façon à former un cul-de-sac fermé ; et il accolle le bout inférieur à la plaie de la paroi abdominale, de manière à former une anse artificielle. Cela fait, il achève les sutures pour fermer la plaie faite à la paroi abdominale.

Il faut généralement quatorze à seize jours pour que le chien ainsi opéré puisse être considéré comme revenu à la santé et à son état normal.

Dans son travail original, Thiry décrit les expériences qu'il a faites pour obtenir par ce procédé du suc intestinal et les essais faits sur ce liquide, étudié dans ses propriétés chimiques et physiologiques.

Il ajoute à la page 19 :

« A titre de complément, il convient de mentionner des ex» périences que j'ai réalisées avec quelques médicaments (diar» rhéiques), en vue de leur action sur les sécrétions de l'intes» tin. Le sulfate de magnésie, le séné et l'huile de croton ont » été les médicaments essayés.

» Relativement au sulfate de magnésie (chien n° 2), une » dose assez forte, qui produisait une forte purgation, fut in- » troduite dans l'estomac sous forme de bol, et, peu de temps » après, on examina la sécrétion du fragment isolé. Mais à au- » cun moment, même quand déjà une abondante diarrhée était » produite, on ne remarqua une augmentation de la sécré- » tion de l'intestin ; il y eut dans l'heure une à deux gouttes de » sécrété, comme cela se rencontre aussi dans l'état de jeûne » de l'animal, sans rien de plus ajouté.

» De plus, j'injectai une solution concentrée de sulfate de » magnésie dans le fragment d'intestin ; elle resta 15 minutes » dans cette anse ; mais là encore ne survint une augmentation » de sécrétion qu'autant que cette sécrétion était provoquée par » une excitation mécanique de l'ouverture de la fistule pen- » dant l'injection et son séjour ; et en aucune façon, elle n'at- » teignait ni ne dépassait la quantité qu'atteint la sécrétion, » quand au lieu de solution saline on instille de l'eau distillée. » Il n'est pas nécessaire de fixer ces résultats avec des chiffres, » d'autant plus que ces chiffres n'ajouteraient rien de particu- » lier. Pareillement, dans les deux essais suivants que j'ai faits » avec le séné, on peut passer sous silence les nombres ob- » tenus.

» Une forte dose de poudre de feuilles de séné fut introduite » sous forme de bol dans l'estomac d'un chien comme le sulfate » de magnésie, en sorte qu'il en résultait une forte purgation ; » mais on peut constater encore que cette ingestion fut encore sans influence sur la sécrétion de tout le fragment isolé » de l'intestin. Ensuite, j'injectai dans le fragment d'intestin » une forte infusion de séné, et je la maintins un temps plus » long, mais là encore une augmentation insensible de sécré- » tion fut obtenue.

» L'huile de croton, à la dose de 6 gouttes, fut injectée dans » la peau du ventre ; il en résulta un vomissement et une diar- » rhée, mais aucune augmentation dans la sécrétion du frag- » ment isolé de l'intestin.

» D'après ces expériences, il est hors de doute que le sulfate

» de magnésie, le séné, l'huile de croton, le dernier instillé » sous la peau, ne provoquent pas la diarrhée par une aug- » mentation de sécrétion des glandes de Lieberkünn, mais que » cette diarrhée doit tenir à autre chose. Il est très-vraisem- » blable que les médicaments cités agissent en supprimant » d'une certaine manière la résorption des liquides du contenu » de l'intestin. Et cela arrive certainement surtout en ce sens » que le contenu de l'intestin, passant dans un temps rapide » dans le canal intestinal et spécialement dans le gros intestin, » est chassé du canal digestif avant que la résorption des par- » ties aqueuses ait eu lieu à cause des mouvements de l'intestin, » exagérés par les médicaments purgatifs cités. »

On trouve, en outre, dans *Archiv für Anatomie-Physiologie und Wissenschaftliche Medicin*, von Dr Reichert und Dr Du Bois Reymond, 1870, p. 37, un travail intitulé : *Zur physiologischen Wirkung der Abführmittel*, von Dr S. Radziejewski. Prakt-Artz in Berlin.

Dans ce travail le docteur Radziejewski donne à la page 85 un chapitre intitulé : *Expériences avec la fistule de Thiry.*

« Il décrit le procédé en insistant sur la modification apportée » par Kuhné, qui consiste à rétrécir l'ouverture libre pour » prévenir le prolapsus ou l'inversion. Les expériences qu'il a » faites, arrivent, dit-il, au résultat que l'auteur de l'opération » (Thiry) a obtenu avec l'huile de croton, le séné et le sulfate » de magnésie et Schiff avec l'aloès, le jalap et le sulfate de » soude, sans fournir un résultat positif; en d'autres termes, » lorsque ces substances ont été placées dans l'intestin ou » dans l'anse isolée, on ne peut constater ni une transsudation » ni une sécrétion exagérée.

» 49e *expérience du 24 février* 1869. — Une chienne dont » la fistule était complétement guérie et dont l'ouverture de la » fistule donnait écoulement à une quantité notable de suc » reçut à dix heures et demie sa nourriture, dix à douze minutes » plus tard survint une abondante évacuation de suc intestinal » et de mucus intestinal; à onze heures quinze minutes on lui » injecta deux gouttes d'huile de *Croton Tiglium* avec dix

» gouttes d'huile d'olive à l'aide d'une seringue dont la canule » en gomme pénétrait jusqu'à l'extrémité de la fistule; une » petite quantité s'écoula au dehors, mais une plus considérable » demeura suffisante pour provoquer une action énergique. » Une sécrétion de couleur foncée de la membrane muqueuse » survint aussitôt, mais au bout de quatre-vingt-dix secondes » cette sécrétion cessa et revint à son type normal, en sorte » qu'il n'y eut que des gouttes isolées qui furent rejetées.

» 50e *expérience*, 1er *mars* 1869. — A dix heures quinze le » même chien reçoit 442 grammes de viande avec trois gouttes » d'huile de croton. Cette dose fut placée dans une capsule de » gélatine, et lorsque je l'eus assez profondément engagée dans » la fistule pour ne pas craindre qu'elle s'échappât en revenant, » je brisai la capsule avec une pince longue, en sorte que toute » l'huile demeura dans la fistule; il n'y eût que quelques flocons » ou gouttes légèrement rougeâtres qui s'échappèrent; cette » quantité ne s'accrut pas jusqu'à sept heures du soir, moment » où une évacuation diarrhéique survint résultant de l'ingestion » à l'intérieur de l'huile. (L'auteur passe ensuite à l'examen » des matières rejetées.)

» Un essai semblable fait le 2 mars eut le même résultat.

» 51e *expérience*, 8 *mars* 1859. — Le même chien reçoit à » midi et demi avec sa nourriture 15 grammes de sulfate de » magnésie. Il reste suspendu toute la nuit; sous la fistule est » disposé un vase propre à recueillir le liquide; le lendemain » matin une très-faible quantité de suc s'y trouvait amassée, » quoique dans la nuit une selle copieuse et très-liquide ait été » évacuée.

» Thiry avait placé le sel purgatif dans la fistule même, sans » pouvoir provoquer une transsudation par une endosmose » locale, il me semble inutile d'augmenter encore par la répé- » tition de ces expériences le nombre des résultats négatifs déjà » obtenus. *Les expériences confirment dans leur évidence déjà* » *manifeste les conclusions de Thiry, que les purgatifs les plus* » *énergiques eux-mêmes ne provoquent les évacuations liquides* » *que par la cessation de la résorption, cessation qui est la con-*

» *séquence de l'exagération des mouvements péristaltiques.* »

A la page 100, le même auteur dit « de toutes les propriétés attribuées aux purgatifs, l'exaltation du mouvement péristaltique reste seule et est seule prouvée; d'elle seule provient la diarrhée ».

Ainsi, en résumé, dans la théorie de Thiry et de Radziejewski, un sel, tel que le sulfate de magnésie, provoque des mouvements péristaltiques exagérés qui donnent lieu à l'évacuation de liquides préexistant dans la cavité intestinale, mais ne provoquant pas l'apparition de liquides nouveaux.

Cette manière de voir repose sur des faits qu'ils ont certainement vus, savoir que les anses intestinales séparées suivant le procédé souvent nommé fistule de Thiry sont apparues vides après avoir reçu de fortes doses de sulfate de magnésie. Je vais rechercher ces faits, afin de voir si une circonstance méconnue et dont il faut tenir compte ne change pas la nature du fait, base de toute cette théorie qui se trouve acceptée plus ou moins explicitement dans un certain nombre d'ouvrages allemands.

Dans une première expérience je me suis borné à former une anse comme à l'ordinaire, puis à couper l'intestin au-dessus et au-dessous, à réunir les deux bouts de l'intestin en laissant flotter dans la cavité abdominale cette anse sans la rattacher comme dans le procédé de Thiry, à la paroi abdominale.

1° *Du 29 juin* 1870. — Sur un chien, après avoir incisé la paroi abdominale suivant la ligne blanche, j'applique deux ligatures en caoutchouc qui limitent une anse comme dans les expériences que j'ai décrites au commencement de ce travail, et j'injecte dans cette anse 20 centim. cubes de la solution de sulfate de magnésie au cinquième, puis je coupe l'intestin au-dessus et au-dessous de l'anse, je rapproche les deux bouts de l'intestin et j'en fais la suture.

Je recouds ensuite la plaie faite à la paroi abdominale.

Cette opération est pratiquée à onze heures, le soir à cinq heures le chien vomit; le lendemain il va bien, gagne à pied le laboratoire et est tué par insufflation d'air dans les veines.

L'anse est énormément distendue, elle contient 332 centim. cubes de liquide. Elle est située à un mètre du pylore et à 85 centim. du cæcum. Le chien pèse 15$^{kil.}$,60.

Dans les deux expériences suivantes, je pratique l'opération dite fistule de Thiry, et j'injecte immédiatement le sel de magnésie dans l'anse isolée.

2° *Du* 30 *juin* 1870. — Sur un chien de taille moyenne, à grosse tête, je sectionne l'intestin en deux points, et je rapproche par une suture les deux bouts de l'intestin; puis l'anse formée reçoit une ligature à l'une de ses extrémités, tandis que l'autre est fixée à la paroi abdominale de manière à former un anus artificiel. En outre une seconde ligature est appliquée près de l'anus artificiel de manière à limiter solidement la cavité dans laquelle j'injecte 20 centim. cubes de la solution de sulfate de magnésie à l'aide d'un trocart fin.

Le lendemain 1er juillet, l'animal est mort; il offre les lésions de la péritonite, et la ligature avoisinant l'anus artificiel paraît être le point de départ ou le foyer principal de l'inflammation.

L'anse contient 138 centim. cubes d'un liquide chargé de leucocytes et de globules rouges.

Cette anse était à 46 centimètres du cæcum; elle avait 60 centimètres de longueur, et elle offrait des plaques de gangrène.

3° 1er *juillet* 1870. — A une heure, sur un chien blanc de taille moyenne, j'ai formé une anse que j'ai coupée. Les deux bouts de l'intestin ont été suturés suivant la méthode. Quant à l'anse libre, j'établis d'un côté une suture en cousant les bords de la plaie, et de l'autre j'établis l'anus artificiel après avoir posé une ligature à quelques centimètres en arrière pour laisser des vaisseaux nourriciers et prévenir la gangrène survenue dans l'expérience précédente. J'injecte 20 centim. cubes de la solution de sulfate de magnésie dans cette anse ainsi formée. — Le lendemain, vingt-deux heures après cette opération, l'anse contient 90 centim. cubes de liquide très-rouge.

Il y avait une certaine quantité de liquide entre cette ligature et l'anus artificiel.

4° Dans une autre expérience, 21 juillet 1871, j'établis la fistule, mais je ne plaçai pas dans l'anse libre la solution de magnésie, afin d'attendre le rétablissement de l'animal. Cette expérience fut interrompue par l'invagination de l'anse qui rentra elle-même dans une étendue de plus de 10 centimètres de longueur; le mésentère est engagé avec l'intestin, malgré les points de suture faits pour constituer le cul-de-sac. Je remarque que c'était bien le bout supérieur de l'anse qui formait l'extrémité flottante et qui s'engagea par suite des contractions. L'animal mourut de péritonite.

5° Dans l'expérience suivante, j'établis une fistule permanente.

Le 1er août, j'opère un chien loulou assez grand. Il est chloroformisé comme à l'ordinaire. Les deux bouts de l'intestin sont unis l'un à l'autre par une suture, sans préoccupation du renversement des séreuses. L'anse est terminée en cul-de-sac et l'anus artificiel est fixé à la plaie de la paroi abdominale.

Le chien est soumis à la diète lactée.

Le 7 août, le chien se porte bien.

Le 8, il est chloroformisé à quatre heures du soir; j'entr'ouvre la plaie cicatrisée de l'abdomen afin d'éviter la difficulté d'oblitérer l'anus, et, après avoir appliqué une ligature dans l'intention de clore l'anse, j'injecte avec le trocart fin à travers les parois de l'anse 20 centim. cubes de la solution de sulfate de magnésie au cinquième.

Le lendemain, le chien est sacrifié par injection de l'air dans les veines. L'anse n'offre pas de liquide. Voici donc le résultat négatif obtenu par les auteurs allemands; mais je constate que la ligature n'étreint pas l'intestin, elle était mal appliquée; en outre le tissu cicatriciel du cul-de-sac était sans résistance, ce dont je m'aperçois en injectant directement dans cette anse

un peu d'eau : je produis en soufflant une légère pression, et l'eau s'échappe par le cul-de-sac.

6° Le 11 août, un chien loulou est chloroformisé et opéré comme à l'ordinaire. Une grande anse est prise au-dessus du cæcum. Des sutures serrées sont établies pour bien oblitérer le cul-de-sac; on pratique deux incisions latérales sur l'intestin près du cul-de-sac pour prévenir les mouvements péristaltiques et l'invagination. L'anus artificiel est fixé. Les deux bouts de l'intestin sont réunis par des sutures serrées, avec abrasion de la muqueuse.

Le 19, le chien, rétabli, est chloroformisé en vue de l'injection, mais il meurt après quelques inspirations.

On examine l'état des organes. L'anus artificiel était bien établi, une sonde y pénètre. Le péritoine est parfaitement sain et normal. Le cul-de-sac de l'anse me paraît bien formé, il offre des adhérences qui me paraissent favoriser sa solidité; cependant j'injecte de l'eau dans cette anse de manière à la distendre un peu, et je vois cette eau s'écouler en partie peu à peu par le cul-de-sac et passer dans la cavité péritonéale.

Ces deux observations me confirment dans l'opinion que j'avais déjà qu'il était bon de placer des ligatures sur l'anse aux deux extrémités avant de faire l'injection. Autrement la petite distension produite par le liquide injecté, et surtout la forte distension produite quand les liquides s'accumulent en raison du travail physiologique provoqué par la solution de magnésie, peuvent écarter les tissus de nouvelle formation dans ce cul-de-sac récemment oblitéré, et les liquides pénétreront dans le péritoine sans que l'on en soit prévenu.

L'expérience qui suit montre en effet qu'il peut en être ainsi.

7° Le 23 août, sur un chien robuste, de taille moyenne, j'injecte dans le péritoine 20 centim. cubes de la solution au cinquième. L'animal ne manifeste absolument rien du tout. Il n'était pas chloroformisé afin que les sensations fussent perçues par lui, accusées et révélées.

Ce chien avait vidé sa vessie et son intestin avant l'opération.

Le lendemain, il ne rend pas de selles, mais il urine assez abondamment. On avait fait une petite plaie à la peau de la ligne blanche et introduit le trocart fin avec précaution, puis le dard étant retiré, on avait poussé plus avant la canule et fait l'injection sans peine et sans rien perdre.

Le surlendemain il a rendu pour la première fois des selles, elles étaient dures. Il continue à ne rien manifester.

Je suspends mon récit un instant. Dans ces diverses expériences, qui sont des tâtonnements en vue de trouver le résultat que les auteurs ont trouvé, et en le trouvant, de bien connaître les conditions particulières qui amènent ce résultat, on peut voir que dès le début je me suis inquiété de la difficulté d'oblitérer cette anse de Thiry, terminée d'un côté par un anus artificiel dont l'oblitération n'est pas aussi simple qu'on pourrait le croire. On est tenté de chercher à l'obtenir sans faire aucune lésion et sans produire de douleur à l'animal; mais le résultat n'est pas, je crois, bien assuré; et quant à l'autre bout de l'anse, au cul-de-sac formé par l'adossement des tuniques, ce sont des tissus qui ne sont pas très-faciles à manier. La pratique des chirurgiens dans les opérations de hernie l'a révélé depuis longtemps. Les sutures, les adossements des tuniques, faits même avec grand, soin peuvent ne donner que des cicatrices de peu de résistance, qui se déchireront quand l'anse intestinale sera distendue. Il y a encore, comme on le voit dans une de mes expériences, le danger de l'invagination à redouter. En résumé, l'opération a ses difficultés, et dans ces tâtonnements je me suis confirmé dans l'idée qu'il fallait se méfier de l'écoulement possible des liquides par l'une ou l'autre des deux extrémités.

L'opérateur peut surveiller l'anus artificiel, et s'assurer facilement que le mode d'oblitération qu'il a mis en usage a été suffisant; quant au cul-de-sac, si les liquides s'échappent par cette autre extrémité, comment l'opérateur le saura-t-il?

L'animal éprouvera-t-il des phénomènes qui révéleront cet accident? Non, il n'y faut pas compter.

J'ai fait l'expérience 7 pour répondre à cette question : elle

montre que des solutions salines bien purgatives peuvent passer dans le péritoine sans qu'aucun trouble révèle à l'observateur leur passage, c'est-à-dire une circonstance qui change absolument les données expérimentales et rend nulles les conséquences que l'on tire des résultats négatifs obtenus.

Je reprends l'exposé de mes expériences.

8e Le 23 août, sur une chienne de plus de quatre ans, moyenne de taille, bien portante, chloroformisée et opérée comme à l'ordinaire, une anse d'intestin est fixée au bas de la plaie de la ligne blanche. L'intestin est suturé sans renverser les tuniques.

Le lendemain, l'animal a très-bonne mine, il a déjà rendu des matières fécales naturelles, demi-molles.

Le 8 septembre, dix-huit jours après l'opération, la chienne est de nouveau reprise. On rouvre la plaie; les intestins libres d'adhérence et l'état général excellent montrent que la guérison a été complète. L'anse paraît bien oblitérée au niveau du cul-de-sac. L'anus artificiel est en très-bon état : les plaies extérieures sont tout à fait guéries. Deux ligatures sont appliquées à chaque extrémité de l'anse, et une injection de 20 centim. cubes de sulfate de magnésie est poussée à l'aide d'un trocart fin dans l'anse. Sous cette influence, la circulation s'active; la plaie est refermée, et l'animal, à peine endormi pendant l'opération, reprend ses mouvements faciles et vifs. Revu une heure et demie plus tard, il se lève et se promène sans gêne apparente, ayant déjà bu le lait qu'on lui a donné.

Le 9 septembre, au matin, cette chienne est tuée par insufflation d'air dans les veines. Elle offre une anse fortement distendue entre les deux ligatures et contenant 180 centim. cubes de liquide clair légèrement opalin en raison des leucocytes qui s'y trouvent. Au delà des ligatures, les deux fragments de l'anse ont une teinte foncée et contiennent du sang noir. L'urine ne donne rien, ni par la chaleur, ni par l'acide nitrique, ni par les réactifs du sucre.

En résumé, on voit que le sulfate de magnésie mis dans

l'anse dite de Thiry donne lieu à la formation de sucs intestinaux très-abondants, comme cela arrive quand ce sel est placé dans une anse formée à l'aide de deux ligatures appliquées sur la continuité de l'intestin.

Il est permis de penser que dans les expériences où les auteurs que j'ai cités ont placé du sulfate de magnésie dans une anse ainsi isolée, et n'ont point trouvé de liquide en examinant cette anse plusieurs heures après l'opération; il est permis, dis-je, de penser que le liquide se sera échappé soit par l'anus artificiel, qu'il n'est pas très-facile d'oblitérer sans faire souffrir l'animal, soit plutôt par le cul-de-sac postérieur, qui n'offre pas à la distension la résistance que l'on pourrait souhaiter.

Ce ne sont, il est vrai, que les auteurs eux-mêmes qui pourraient retrouver les conditions dans lesquelles ils se sont placés et dans lesquelles ils ont bien réellement rencontré ce qu'ils ont dit. Il est en effet bon de remarquer ici que les faits avancés ne sont pas contestés : il y a eu absence de liquides dans l'anse; mais si l'on montre que les liquides remplissent l'anse quand on a la précaution de fermer exactement cette anse, on montre que les expériences sur lesquelles les auteurs allemands ont établi une théorie nouvelle peuvent être réalisées avec un résultat tout à fait différent. En d'autres termes, ces mêmes expériences, telles que je les ai exécutées, confirment les données déjà acquises relativement à l'action du sulfate de magnésie sur la membrane muqueuse de l'intestin.

On doit remarquer aussi, dans le passage cité plus haut, que Thiry ne laissa que quinze minutes la solution concentrée de sulfate de magnésie en contact avec l'anse formée. Ce temps peut n'avoir pas suffi; dans mes expériences, le sel purgatif reste beaucoup plus longtemps au contact de la membrane muqueuse.

SULFATE DE MAGNÉSIE

MIS DANS LE SANG

Les expériences qui suivent ont été faites en vue de théories qui ont eu cours, et d'après lesquelles les sels purgatifs étaient considérés comme produisant leur action d'une manière plus énergique quand on les met dans le sang.

Je montre d'abord une expérience où l'injection dans les veines produisit une mort immédiate.

Le 6 janvier 1868, une chienne bouledogue, au-dessous de la taille moyenne, est chloroformisée. Plusieurs ligatures sont fixées sur l'intestin en vue de produire des anses distinctes. La plaie de la ligne blanche est recousue.

J'injecte dans la jugulaire 25 centim. cubes d'une solution au cinquième de sulfate de magnésie. La seringue étant munie d'un pas de vis, je pratique cette injection en tournant le pas de vis.

Avant que toute la quantité ait été injectée, le chien offre la langue noire et meurt.

La solution était chaude, l'injection fut poussée avec une certaine lenteur. A l'autopsie, faite le lendemain, je trouve le cœur, particulièrement le cœur droit, rempli d'un sang noir en bouillie épaisse. L'intestin est vide; la muqueuse offre un enduit pâle plus abondant auprès du duodénum.

Dans l'expérience qui suit, on voit un gramme mis dans le sang d'un chien ne donner lieu à aucune sécrétion dans l'intestin au bout d'une heure et demie.

Le 30 décembre 1867, une chienne de chasse, braque, assez forte, à jeun depuis vingt heures, est chloroformisée. A la faveur d'une incision faite à la ligne blanche, j'applique sur l'intestin

neuf ligatures entre le duodénum et le cæcum, en vue de constater, s'il y a lieu, la place où se produiront les liquides de l'intestin.

Puis j'injecte dans la veine jugulaire 50 centim. cubes d'une solution de sulfate de magnésie au cinquantième, par conséquent un gramme de sel. Cette opération est faite à deux heures.

Une heure et demie plus tard, à trois heures et demie, le chien est de nouveau chloroformisé. Depuis l'opération, il est resté dans la gouttière.

On ne trouve point de liquide dans l'intestin grêle, et pour le gros intestin l'état des matières prouve qu'il n'y a pas eu non plus de liquides produits.

Dans l'expérience qui suit, on voit une quantité de 3 à 4 grammes de sulfate de magnésie injectée dans la veine. L'intestin demeure sec, sauf la partie de l'estomac et du duodénum où l'on trouve de la bile.

Le 9 janvier 1868, un chien jeune est chloroformisé entre deux et trois heures. On place cinq ligatures sur l'intestin, comme précédemment. On injecte dans la veine jugulaire 20 centim. cubes d'eau contenant de 3 à 4 grammes de sulfate de magnésie. La seringue contenait 25 centim. cubes contenant 5 grammes; on s'arrêta avant de l'avoir vidée, parce que la langue devint noire et que l'on craignit l'accident survenu dans l'expérience du 6 janvier avec cette quantité de la même solution.

Le chien, placé dans un grand baquet, a fait des efforts de vomissement sans résultats; mais il est laissé là jusqu'au lendemain, et l'on trouve sur le paillasson un liquide verdâtre, trace manifeste de vomissements. Point de matières fécales. Ce chien paraît vif.

Il est chloroformisé et sacrifié. L'intestin ouvert est sans liquide ; le gros intestin offre des matières sèches. La vessie est vide, rétractée; l'estomac et le duodénum contiennent une abondante quantité de liquide vert jaunâtre.

Mêmes résultats sont fournis par l'expérience qui suit :

Le 11 janvier 1868, un grand chien est chloroformisé ; une incision est pratiquée sur la ligne blanche, et neuf anses sont produites à l'aide de liens de caoutchouc. La plaie est recousue, et 4 grammes de sulfate de magnésie sont injectés dans la veine jugulaire dissous dans 20 centim. cubes d'eau à 25°.

Le lendemain, je trouve autour du point où il est attaché une grande quantité de liquide jaune verdâtre. Il est sacrifié par la section du bulbe dix-huit heures après l'opération.

L'estomac et le duodénum contiennent une certaine quantité de bile d'un beau vert.

La première anse, voisine du pylore, contient environ un centim. cube de liquide ; j'avais noté, en plaçant les ligatures, que cette portion d'intestin paraissait contenir un peu de liquide.

L'anse qui suit est un peu humide, mais le liquide qui la mouille n'est pas assez abondant pour couler.

Les autres anses sont vides et offrent au doigt le toucher visqueux.

Le gros intestin est sec et offre quelques matières solides, grises.

L'expérience qui suit offre des résultats analogues.

Le 24 mars 1868, un chien braque, assez grand, bien portant, est chloroformisé. Par une incision faite à la ligne blanche, j'amène le duodénum et le pylore facilement ; je soulève le canal cholédoque, je l'incise, et j'engage un tube d'un calibre convenable dans ce canal. Le bout de ce tube est lié à une poche de caoutchouc mince et extensible ; le canal est lié au tube, et le bout libre du côté de l'intestin reçoit aussi une ligature.

J'établis plusieurs ligatures sur l'intestin grêle.

Puis, la plaie étant fermée, j'injecte dans la veine jugulaire, en deux fois, 10 grammes de sulfate de magnésie dans 50 centim. cubes d'eau.

La solution est environ à 40°.

L'animal cesse de respirer, la langue devient noire, le cœur cesse de battre. Mis à terre sur le paillasson, il paraît mort pendant quelques minutes; puis le cœur donne des battements très-rares, puis plus fréquents. Les respirations, très-rares d'abord, reviennent peu à peu au type normal. Le chien se relève. Au bout des 25 premiers centim. cubes de l'injection, il avait fait quelques efforts inutiles de vomissement. Le lendemain, environ vingt heures après l'opération, je trouve le chien couché, fatigué. Il est sacrifié par la section du bulbe. L'abdomen ouvert offre une injection très-prononcée, particulièrement aux alentours des reins. Point de pus manifeste à l'œil nu. La poche de caoutchouc contient une certaine quantité de bile, environ 50 centim. cubes. Une petite quantité de bile paraît suinter entre le tube et cette poche.

L'estomac contient un liquide un peu acide, en abondance.

Au niveau du duodénum, on trouve un liquide non acide, de couleur analogue à celle du liquide de l'estomac. (Le cardia n'avait pas été lié.)

La première anse intestinale est située à 20 centimètres au-dessous du pylore; elle contient un liquide d'aspect féculent comme on en rencontre parfois.

L'anse qui suit n'a point de liquide, mais seulement de l'humidité. Les autres anses, jusqu'au cæcum, sont de plus en plus sèches à mesure que l'on descend.

Au voisinage du cæcum, dans l'anse qui le comprend et les 15 centimètres de l'intestin grêle attenant, on trouve du liquide mêlé aux matières, mais ne distendant pas l'intestin.

Je note ici que l'animal avait rendu pendant l'opération quelques matières jaunes très-liquides. Je pense que le liquide trouvé à l'autopsie dans la partie inférieure de l'intestin, liquide peu abondant d'ailleurs, peut bien ne pas avoir été produit sous l'influence du sulfate de magnésie.

L'expérience suivante a rapport au même sujet; mais c'est dans le tissu cellulaire, et non dans la veine, que le sel de magnésie est injecté.

Le 14 juillet 1868, à dix heures du matin, un chien de taille moyenne reçoit sous la peau du flanc droit 20 centim. cubes d'une solution au cinquième, contenant donc 4 grammes de sulfate de magnésie. La petite plaie est ensuite recousue. L'animal, qui n'était pas chloroformisé, n'a paru rien éprouver; il n'a fait aucun effort de vomissement visible, il n'a rien rendu. On cesse de l'observer à six heures du soir, mais on le place en un lieu où l'on pourra juger s'il rejette quelques matières. Vingt-quatre heures après, le chien n'a rendu ni selles ni vomissements.

Ces expériences, auxquelles on peut joindre celles que M. le docteur Rabuteau et M. le docteur Jolliet ont faites chacun de leur côté à la même époque, et aussi plusieurs expériences que l'on trouve dans le travail déjà cité de Thiry, établissent que le sulfate de magnésie et beaucoup d'autres substances qui, mises dans l'intestin, donnent lieu à une production plus ou moins abondante de liquides, n'ont point la même action quand ils sont mis dans le sang.

Je rappellerai aussi l'expérience de Thiry, citée plus haut, dans laquelle il fait avaler un bol de sulfate de magnésie qui passe dans l'estomac et l'intestin sans provoquer, sur l'anse isolée suivant la méthode décrite, une formation de liquides diarrhéiques.

Les notions qui résultent de ces expériences sont aujourd'hui acceptées, elles ne l'étaient pas il y a peu d'années encore ; je ne m'y arrêterai pas davantage.

EXPÉRIENCE

DE

LA SECTION DES NERFS

D'UNE ANSE INTESTINALE

L'expérience que je vais décrire montre que la section des nerfs qui se rendent à l'intestin détermine la production de liquides dans la cavité intestinale.

Sur un chien bien portant, à jeun depuis la veille au moins, et dont l'intestin est par conséquent vide, je pratique pendant le sommeil du chloroforme une incision de la paroi abdominale, le long de la ligne blanche, et je mets à nu, en écartant l'épiploon, une grande anse d'intestin. Je choisis sur cette anse, en tenant compte de la distribution des vaisseaux, une longueur de 10 à 20 centimètres, et j'applique deux ligatures, de façon à avoir ainsi une petite anse fermée qui ne peut recevoir de liquide venant d'en haut ni d'en bas. Je forme en outre, à l'aide de deux nouvelles ligatures, deux autres anses, l'une au-dessus, l'autre au-dessous de la première. Ces trois anses sont vides.

J'isole alors avec le plus grand soin les nerfs qui se portent sur l'anse du milieu ; ces nerfs marchent accolés aux vaisseaux ou placés à quelque distance d'eux. Je les coupe avec précaution, puis l'intestin et l'épiploon étant remis en place, je recouds les lèvres de la plaie faite à la paroi abdominale.

Bientôt le chien s'éveille et paraît n'avoir pas conscience de l'opération qu'il a subie. Au bout de plusieurs heures, il est sacrifié et l'abdomen est ouvert. Le liquide abondant contenu

dans l'anse énervée est recueilli en ponctionnant l'intestin à l'aide d'un trocart. Les deux anses voisines et normales sont flasques et vides, et contrastent par leur aspect avec l'anse énervée. Leur membrane muqueuse est collante au doigt et même sèche, tandis que celle de l'anse énervée est douce, humide et ramollie par la présence du liquide de nouvelle formation qui la baigne.

Ce liquide contient du mucus, des globules blancs et des corpuscules muqueux. Il est tout à fait exempt de globules rouges, si ce n'est dans le cas où les fils qui serrent l'intestin ont rompu les vaisseaux sanguins. J'évite facilement cet accident par l'emploi de ligatures qui ne coupent pas, telles, par exemple, que des tubes de caoutchouc d'un petit diamètre.

Par le repos, ce liquide laisse déposer du mucus, quelques traces d'aliments, et fréquemment aussi des débris de ténias, enfin des corpuscules muqueux et des leucocytes, dont la quantité offre des variations intéressantes à étudier.

Ce liquide filtré est clair, avec une teinte légèrement jaunâtre. Sa densité égale 1,008. Il est fortement alcalin, et contient une quantité de carbonate ou de bicarbonate correspondant à $0^{gr},2$ de soude anhydre pour 100 grammes.

Les matières organiques ont fourni un poids de 35 à 45 centigrammes, et les matières minérales un poids de 9 à 9 1/2 décigrammes pour 100 grammes de liquide.

Le résidu fixe est composé de carbonates alcalins, de chlorures, d'un peu de sulfate et de phosphate de chaux.

L'analyse quantitative a montré, sur trois liquides différents, que le sodium y variait de 34 à 36 pour 100, le potassium de 2 à 6, le chlore de 32 à 45, et l'acide sulfurique de 1 à 4. Le phosphate de chaux, pesé dans une seule analyse, formait environ 2 pour 100 du résidu.

Si dans la liqueur filtrée on verse de l'acide acétique de façon à neutraliser l'alcali, on obtient par l'ébullition un coagulum dont le poids a varié entre 8 et 10 centigrammes, et qui représente ainsi le tiers ou le quart des matières organiques.

L'urée se trouve dans les matières non coagulées; dosée

dans une analyse, elle fournit un poids de 16 milligrammes pour 100 grammes du liquide.

La quantité de liquide ainsi obtenu dans une anse d'intestin s'est élevée à 100 grammes sur un chien que je sacrifiai trois heures après l'opération; elle était de 225 grammes sur un autre que je présentai à la Société de biologie, et qui avait été sacrifié dix-huit heures après l'opération.

Dans le tableau suivant, je donne les quantités de liquide obtenu dans plusieurs expériences faites en suivant le procédé décrit :

Dates de l'expérience.	Quantités recueillies dans l'anse.
27 juillet 1867	90 c.c.
3 février 1868	115
14 juillet 1867	120
28 mai 1870	130
6 mars 1868	151
14 décembre 1867 (2 anses énervées, l'une dans 60, l'autre 103), total	163
23 avril 1868	163
17 octobre 1867	165
27 mars 1868 (2 anses énervées, l'une dans 40, l'autre 140), total	180
28 février 1864	225
8 novembre 1867 (3 anses énervées, l'une dans 60, une autre 80, une autre 90), total	230
27 août 1868 (une anse énervée)	232

Ces résultats concordants s'obtiennent-ils d'une manière tout à fait constante? Non. Voici en effet quelques expériences dans lesquelles on pensait devoir les obtenir, et l'on ne trouva dans l'anse énervée qu'une quantité de liquide trop petite pour être recueillie, ou même qu'une membrane muqueuse humide et douce. Cette humidité est cependant à noter, car elle faisait contraste avec les membranes muqueuses des anses non énervées, qui sont sinon sèches, du moins d'un toucher visqueux et collant au doigt.

Le 22 octobre 1867, un chien épagneul, blanc, très-jeune, fut chloroformisé à dix heures du matin, et, suivant le procédé ordinaire, on établit une anse d'intestin de 22 centimètres de

long entre deux autres, en plaçant quatre ligatures de caoutchouc à environ 20 centimètres de distance. On enleva les nerfs de l'anse placée au milieu. A une heure, c'est-à-dire trois heures plus tard, le chien fut sacrifié. Les anses étaient vides. On remarqua que des nerfs situés au voisinage du vaisseau lymphatique, ainsi que quelques autres au voisinage d'une veine, ont été épargnés. Dans cette expérience, la grande longueur donnée à l'anse énervée avait rendu l'opération plus longue, plus difficile, et, comme il résulte de l'examen après la mort, incomplète.

Le 25 octobre 1867, un chien de berger, gris fauve, fut chloroformisé à neuf heures et demie du matin, et opéré suivant le procédé ordinaire. On forma trois anses intestinales, et l'on enleva les nerfs à celle du milieu. Deux heures plus tard, il fut sacrifié. Les anses étaient vides. Un nerf oublié, accolé à la veine, fut trouvé intact. La membrane muqueuse de l'anse énervée est plus rouge que celle des anses normales.

Le 29 octobre 1867, un chien brun rouge fut chloroformisé et opéré à dix heures du matin comme les précédents. Sacrifié à une heure, c'est-à-dire trois heures après, on ne trouva pas de liquide dans l'intestin. On constate que les nerfs ne sont pas tous coupés, et que l'on en retrouve plusieurs intacts sous une petite couche de sang coagulée adhérente au péritoine.

Dans ces trois opérations, on s'est servi d'un instrument nouveau qui permet d'isoler les nerfs, et de les couper sans que la main quitte la plaie. Cet instrument, dont je n'avais pas encore l'habitude, m'a servi dans des opérations ultérieures qui m'ont donné des résultats positifs très-nets.

C'est sans doute à l'oubli de plusieurs nerfs, oubli que l'on a vérifié à l'examen *post mortem*, qu'il faut attribuer l'absence de liquide dans l'intestin. Il semblerait, d'après ces remarques, que, dans une région du corps, les phénomènes qui sont sous la dépendance des nerfs continuent à se produire encore quand une faible partie des nerfs qui animaient la région demeure encore intacte; c'est d'ailleurs ce qui a été remarqué dans diverses circonstances. Ainsi les vétérinaires ont vu, sur le pied du

cheval, que tandis que la section de tous les nerfs donne lieu à la gangrène du pied, la vie persiste quand une branche nerveuse est conservée intacte.

Faut-il attribuer au petit nombre d'heures écoulées, environ trois ou quatre heures, entre l'opération et le moment où le chien fut sacrifié, une part dans l'absence de liquide. Ce n'est d'ordinaire, en effet, que vingt heures ou vingt-quatre heures après l'opération que je sacrifie les chiens pour observer les effets produits?

Il est difficile de répondre avec assurance à cette question. J'ai en effet, sur des anses énervées, obtenu du liquide dans un temps aussi court.

Ces résultats négatifs se sont reproduits encore dans d'autres expériences sans que j'aie pu préciser la cause à laquelle ils devaient être rapportés. L'expérience suivante montre encore un exemple d'une anse énervée qui conserve des nerfs non coupés et ne contient pas de liquide, et offre aussi une seconde anse qui fut trouvée pleine de liquide, quoiqu'on ait rencontré encore un nerf non coupé dans l'examen fait *post mortem*.

Le 3 février 1868, on opère comme à l'ordinaire un chien de chasse, jeune mâle, jaune et blanc, maigre et paraissant exténué. On forme deux anses que l'on énerve, en respectant sur l'une la couche profonde de mésentère, tandis que sur l'autre on la coupe et on ne laisse que l'artère et la veine isolées.

Vingt-quatre heures après, il est chloroformisé de nouveau et examiné. La plaie est rouverte. L'anse énervée dont le mésentère est coupé est très-humide à l'intérieur, mais n'a pas de liquide en quantité suffisante pour couler. Elle est petite. L'artère, examinée, offre cinq nerfs fins distincts qui ont été épargnés.

L'anse énervée dont le mésentère est respecté contient 115 centim. cubes de liquide clair, opalin. Les vaisseaux examinés offrent un nerf accolé à l'artère, qui se rompt sous la traction que produit mon stylet en le soulevant. On ne trouve pas autre chose. L'examen, fait avec soin après la mort, donne ce résultat que l'énervation était bien plus complète dans l'anse remplie de liquide que dans l'autre.

D'autres expériences dans lesquelles on n'a point, à la suite de l'énervation, rencontré de liquides dans l'anse opérée, ont été faites. Est-ce à une énervation incomplète qu'il faut rattacher ces résultats négatifs? Ce que je viens de dire tend à le faire admettre. On conçoit cependant que si le système nerveux dans les conditions décrites provoque la formation des liquides, l'état des vaisseaux et celui des glandes de la membrane muqueuse peuvent aussi intervenir et supprimer un phénomène qui exige évidemment des conditions favorables empruntées à différents ordres de tissus.

Enfin, l'absence de liquide au moment où l'on examine l'anse opérée, peut-elle tenir à la réabsorption des liquides produits sous l'influence nerveuse pendant un temps limité? La question peut être posée.

Nature du liquide.— Relativement aux caractères du liquide trouvé dans l'intestin, je citerai les observations suivantes :

Le 28 mai 1867, sur une chienne noire, de taille moyenne, mais forte quoique maigre, chloroformisée, je fis quatre anses dont deux furent énervées. Seize heures environ après, elle est sacrifiée, et je trouve que les deux anses énervées sont gonflées de liquide. Pour cette expérience, qui fut la première de toutes, ainsi que pour celles qui suivirent, je ne mesurai pas, comme je fis plus tard, la quantité de liquide obtenu, mais je pris les dimensions des anses. Or, les quatre anses avaient, au moment où elles furent établies par la pose de cinq ligatures, 12 centimètres de long chacune. A l'examen fait aussitôt après la section du bulbe rachidien :

L'une des anses énervées avait	23,0 cent.	de long et	9,0 de contour.
L'autre.....	23,0	—	8,5
L'une des anses témoins avait	12,5	—	5,5
L'autre.....	11,0	—	4,5

Le liquide recueilli dans l'anse énervée et soumis à l'ébullition ne coagule pas; il contient cependant des matières organiques, qui forment pendant l'ébullition une écume qui se fixe aux bords du verre.

Je résumerai, comme il suit, ce que j'ai constaté en obser-

vant ce liquide obtenu dans plusieurs de mes expériences. Les globules blancs mêlés au liquide se rencontrent constamment. Cependant, quand on considère que leur quantité va en augmentant en général en raison du temps écoulé depuis le début de l'expérience, et en raison de l'état inflammatoire de l'intestin et du péritoine; considérant en outre qu'en dehors de ces conditions, c'est-à-dire qu'en prenant le liquide deux ou trois heures après l'énervation et sur des animaux chez lesquels l'inflammation de l'intestin et du péritoine ne s'est pas prononcée, on a obtenu un liquide clair et ne laissant pas de dépôt, on est conduit à admettre qu'il y a deux phases à distinguer, et que la première phase est analogue, peut-être même identique à la sécrétion d'un suc intestinal normal, et que la deuxième phase qui se prononce de plus en plus, à mesure que le temps s'écoule, est caractérisée par la formation abondante des leucocytes.

EXPÉRIENCES

AVEC

LE CHLORHYDRATE DE MORPHINE

ET L'EXTRAIT GOMMEUX D'OPIUM

J'ai donné dans le tableau de la page 120 les quantités de liquide recueillies dans une anse d'intestin après l'injection dans cette anse d'une quantité connue d'une solution de sulfate de magnésie au cinquième pendant un temps connu ; les expériences qui suivent montrent les quantités de liquide obtenues avec de pareilles solutions du même sel, toutes choses étant égales, sauf une condition, c'est que dans ces nouvelles expériences on a mis l'organisme sous l'influence de la morphine ou de l'extrait gommeux d'opium.

Mais d'abord la morphine mise dans le sang, et en l'absence de tout sel placé dans l'intestin, produit-elle, par rapport aux sécrétions intestinales, quelque phénomène bien manifeste?

L'expérience suivante montre un chien soumis à l'action de 0^{gr},1 de chlorhydrate de morphine dans la veine. L'intestin ne présente point de liquide ; l'estomac et le duodénum contiennent une grande quantité de bile verte.

Le 14 janvier 1868, un chien braque, de taille moyenne, assez fort, est chloroformisé entre une heure et deux heures. La ligne blanche est incisée, et plusieurs ligatures sont appliquées sur l'intestin entre le duodénum et le cæcum. La plaie est ensuite refermée, et une injection chaude contenant un vingtième de

chlorhydrate de morphine est faite dans la veine jugulaire. On injecte 2 centim. cubes de cette solution, par conséquent 0,1 du sel de morphine.

Le chien tombe dans un sommeil calme, profond. La respiration est régulière, lente; il faut regarder de près l'animal pour voir qu'il est vivant.

Le lendemain, vingt-quatre heures après l'opération, l'animal se plaint et paraît souffrir. Il a beaucoup uriné ; il est chloroformisé. On trouve dans l'abdomen un liquide rougeâtre très-abondant. La rate offre une déchirure et adhère à un gros caillot de sang noir.

L'estomac et le duodénum offrent une très-grande quantité de bile verte. L'examen de la paillasse sur laquelle il reposait et celui du vase où l'urine était recueillie font penser qu'il n'y a pas eu de vomissement.

L'intestin grêle, divisé en sept anses par les ligatures appliquées, offre la membrane muqueuse visqueuse dans chacune. Ainsi il n'y a point de liquide dans cet intestin, non plus que dans le gros intestin, qui contient quelques matières à peu près sèches. La consistance de la membrane muqueuse, contrastant avec la muqueuse molle, humide et douce, qui est ou qui a été récemment en contact avec du liquide, donne lieu de penser qu'il n'y a eu aucune production de liquide dans l'intestin.

L'expérience suivante montre les effets produits par l'extrait gommeux d'opium mis sous la peau.

Le 11 juillet 1868, à trois heures, un chien de taille moyenne, assez fort, non chloroformisé, reçoit $0^{gr},5$ d'extrait gommeux d'opium suspendu dans 12 centim. cubes d'eau que l'on injecte sous la peau.

Un instant après, le chien vomit et rend plusieurs selles solides, puis liquides.

Il tombe endormi et présente une respiration de trente à quarante par minute. Il s'éveille très-facilement, se soulève, puis bientôt se rendort.

Le lendemain il est trouvé assoupi; il boit devant moi. Il

n'a point rendu de nouveau des selles ; il reste jusqu'au lundi dans cet état, et sert à d'autres expériences.

Tout porte à penser que chez ce chien, comme chez le précédent, il n'y a pas eu de sécrétion intestinale.

Dans les deux expériences qui suivent, l'extrait gommeux d'opium a été placé dans l'anse intestinale.

Le 11 juillet 1868, un chien de garde de taille moyenne, couleur jaune feu, est chloroformisé, et on lui injecte dans une anse intestinale de 30 à 40 centim. de long 0^{gr},5 d'extrait dans 12 centim. cubes d'eau.

Pendant cette opération, le chien vomit ; il s'endort profondément et respire avec une régularité très-grande quinze fois par minute.

Le pouls, irrégulier comme à l'état normal, bat environ soixante-dix fois par minute. Le lendemain, dix-huit heures après l'opération, ce chien, bien éveillé, se promène, ne paraissant pas souffrir. Il n'a pas rendu de selles ; il vomit une gorgée de matières rougeâtres et est sacrifié par la section du bulbe.

L'anse liée, qui a reçu 12 centim. cubes de liquide contenant l'extrait gommeux d'opium, est sèche, offrant quelques matières presque sèches. La muqueuse est collante au doigt.

L'intestin qui lui fait suite est tout à fait sec jusqu'au cæcum. Le gros intestin offre des matières sèches et une muqueuse sèche aussi.

Au-dessus de l'anse de l'intestin grêle, l'estomac et l'intestin sont distendus par une masse assez notable de liquide semblable à celui qu'il vient de vomir. On n'y trouve pas nettement au microscope des globules rouges, mais on distingue des débris d'aliments et des morceaux volumineux, restes d'un repas non vomis. On est conduit à penser, en comparant l'état de sécheresse de la partie inférieure de l'intestin avec l'abondance des liquides qui ont été vomis et qui sont restés dans la partie supérieure mêlés aux aliments, que c'est le travail de la digestion interrompue et non achevée qui a donné lieu à ces liquides.

La présence des aliments dans l'estomac étant une cause physiologique de la présence des liquides, on a fait l'expérience suivante sur un chien à jeun depuis plus de vingt-quatre heures.

Le 13 juillet 1868, un chien blanc, déjà cité comme ayant eu le 11, sous la peau, du côté droit, 0gr,5 d'extrait gommeux d'opium, a été laissé à jeun depuis ce moment. Deux jours après, le 13, il est chloroformisé et reçoit dans une anse intestinale 20 centim. cubes d'eau contenant 0gr,5 d'extrait gommeux d'opium en suspension.

Pendant l'opération, le chien urine tout à coup, et quelques gouttes d'urine entrent dans la plaie du ventre.

La plaie recousue, l'animal tombe dans un sommeil profond, bien différent de celui qu'il avait avec la même dose sous la peau. Il a la pupille tout à fait cachée sous la paupière transversale. Sa respiration est si lente, que plusieurs fois je le crois mort, et suis obligé de faire grande attention pour constater que la vie persiste.

Il est éveillé six heures plus tard, calme, disposé peut-être encore à sommeiller. Sacrifié par la section du bulbe, l'intestin est ouvert; l'anse est vide, la muqueuse est collante. Le reste de l'intestin a la muqueuse partout collante, sauf au duodénum, où la bile forme un pointillé très-fin sur la muqueuse. humide. Le chien, qui a bu, conserve dans l'estomac la valeur d'un demi-verre d'eau un peu colorée.

Ainsi ce chien, qui était à jeun, n'a point offert les vomissements ni les quantités de liquide que l'autre offrait dans la région stomacale de l'intestin.

Nous connaissons par les expériences qui précèdent, ce que produit le chlorhydrate de morphine mis dans une veine, ou l'extrait gommeux d'opium placé dans le tissu cellulaire ou dans une anse intestinale. Nous avons vu que l'intestin grêle était toujours resté sans liquide dans ces conditions.

D'autre part, nous avons vu plus haut que le sulfate de ma-

gnésie, mis dans une anse intestinale, donnait lieu à un afflux de liquides dont nous avons déterminé la quantité parfois considérable dans un certain nombre d'expériences.

Les expériences qui suivent montrent que la sulfate de magnésie ne produit plus les mêmes effets quand l'organisme est soumis à l'influence du chlorhydrate de morphine ou de l'extrait gommeux d'opium.

Le contraste se révèle au lecteur par le rapprochement du tableau donné page 120, avec les expériences dont il me reste à donner brièvement le récit.

Je place d'abord ici les expériences faites avec l'extrait gommeux d'opium.

Le 15 juillet 1868, un chien à jeun est chloroformisé, et reçoit sous la peau de l'aisselle 20 centim. cubes d'eau contenant 0^{gr},5 d'extrait gommeux d'opium. Un instant après, l'animal expulse quelques matières solides et d'autres molles, le tout en petite quantité; il reste assoupi et salive abondamment. Il n'a point vomi. Six heures plus tard, il est assez éveillé et n'a rendu ni selles ni vomissements. Sans le chloroformiser, je lui injecte dans une anse intestinale 10 centim. cubes de la solution au cinquième de sulfate de magnésie. Les épiploons, qui sortent par des efforts de toux, sont remis en place. Quelques minutes après l'occlusion de la plaie de la ligne blanche, le chien vomit sans efforts une très-petite quantité de liquide, et reprend l'attitude du sommeil.

Le lendemain, dix-huit heures après cette opération, il paraît en bon état, et est tué par la section du bulbe. Je constate des mouvements très-nets de l'anse, ainsi que des autres parties de l'intestin.

Cette anse, qui est à une distance de 65 centimètres du cæcum, est absolument sans liquide. On trouve seulement un peu de liquide purulent qui humecte la muqueuse.

Au-dessous de l'anse l'intestin est vide.

Au-dessus il est coloré par une bile noire, visqueuse, jusqu'au voisinage du duodénum; alors la muqueuse est jaune et normale, baignée par des liquides peu abondants.

Voici une autre observation sur la même question :

Le 21 juillet 1868, le matin à huit heures et demie, un chien de taille moyenne, couleur de feu, reçoit sous la peau du flanc gauche 1 gramme d'extrait gommeux d'opium dans 20 centim. cubes d'eau distillée.

Il urine et rend quelques matières dures au bout de quelques minutes et tombe dans l'assoupissement.

Le soir, à quatre heures, il n'a rendu aucune nouvelle matière provenant, soit de l'estomac, soit de l'intestin, soit de la vessie.

Sans être chloroformisé, il subit l'incision de la ligne blanche et reçoit dans une anse intestinale 20 centim. cubes de la solution de sulfate de magnésie au cinquième. Remarquablement tranquille, il se promène, une fois la suture faite.

Le lendemain, dix-sept heures après cette opération, il n'a rendu dans ce temps aucune matière; il est sacrifié par la section du bulbe. Les intestins sont normaux, l'anse contient 56 centim. cubes de liquide purulent. Au-dessous l'intestin est vide; au-dessus il contient de la bile et des gaz; l'estomac contient aussi des liquides. La vessie est pleine.

Le 21 juillet 1868, à neuf heures du matin, une chienne bouledogue, de taille moyenne, en lactation, reçoit sous la peau du flanc gauche 1 gramme d'extrait gommeux d'opium dans 20 centim. cubes d'eau distillée. Deux ou trois minutes après, elle urine et rend quelques matières fécales dures. Elle tombe dans l'assoupissement. Les cartilages costaux sont soulevés par des mouvements saccadés, brusques, inégaux.

Le soir, à quatre heures, elle n'a rien rendu de nouveau; non chloroformisée, elle reçoit dans une anse intestinale 20 centim. cubes de la solution au cinquième de magnésie. Elle est agitée avant l'opération, et chasse plusieurs fois ses intestins, que je refoule avec peine. Le calme revient après l'opération finie; le lendemain, dix-sept heures après, elle est sacrifiée. L'anse contient 42 centim. cubes d'un liquide purulent; l'estomac contient une petite quantité de liquide verdâtre. L'intestin, au-des-

sous et au-dessus de l'anse, offre comme celle-ci une muqueuse sèche et collante.

Le 8 décembre 1868, un chien, petit, reçoit 0gr,5 d'extrait d'opium sous la peau du ventre; il est chloroformisé et reçoit 10 centim. cubes de sulfate de magnésie au cinquième. Vingt-quatre heures après, sacrifié : l'anse contient 55 centim. cubes de liquide; l'urine précipite en blanc en abondance par l'acide nitrique.

Les expériences qui suivent sont relatives à l'emploi du chlorhydrate de morphine injecté dans la veine, tandis que la solution de sulfate de magnésie est injectée dans une anse intestinale.

Le 23 juillet 1868, à onze heures, un chien braque, de taille moyenne, reçoit dans la veine 20 centim. cubes d'eau contenant 0gr,98 de chlorhydrate de morphine. L'injection est poussée lentement. L'animal, calme au début, s'agite tout à coup; cependant on achève lentement cette injection. Le chien tombe immédiatement dans un assoupissement profond. Au bout d'une demi-heure, je procède, sans chloroformiser l'animal, à la formation d'une anse intestinale : l'intestin m'apparaît rouge et comme turgide. J'injecte dans l'anse 30 centim. cubes de la solution de sulfate de magnésie au cinquième. Six heures après cette opération, le chien, toujours profondément assoupi, offrant cependant des tressaillements fréquents, est sacrifié par la section du bulbe. Il n'y a point de traces de péritonite.

L'anse contient 30 centim. cubes de liquide; cette anse offre une muqueuse piquetée de rouge. Au-dessous, l'intestin contient un liquide verdâtre; au-dessus il est humide et sans liquide. Le gros intestin offre des matières liquides assez abondantes, et l'estomac contient une certaine quantité de liquide.

Je place dans le tableau suivant le résultat d'expériences faites comme celle que je viens de décrire :

Dates.	Quantité de chlorhydrate de morphine.	Quantité de sulfate de magnésie.	Durée.	Quantité retrouvée dans l'anse
23 juillet 1868....	0,98	30 c. c.	6 heures.	30 c. c.
26 juillet 1868....	0,03	30	24	12
26 juillet 1868....	0,03	30	24	74
5 décembre 1868.	0,01	20	21	34
8 décembre 1868.	0,25	10	24	11
11 décembre 1868.	0,35	20	21	9 purulent
23 décembre 1868, en deux fois.	0,03 0,03	20	24	33 purulent
23 décembre 1868, en deux fois.	0,03 0,03	20	24	54
5 janvier 1869...	0,25	20	4	30
5 août 1869.....	0,25	20	»	50
7 janvier 1869...	0,05	20	20	6
7 janvier 1869...	0,05	20	meurt en qq. heures	48
17 juillet 1869....	0,05	une anse. 10 une autre. 20	20	16 purulent 39 purulent

La comparaison de ce tableau avec le suivant montre d'une manière manifeste que la présence du chlorhydrate de morphine dans le sang tend à produire une diminution considérable dans la quantité des liquides que l'action d'une solution de sulfate de magnésie au cinquième mis dans l'intestin y fait apparaître.

TABLEAU *montrant les quantités de liquide obtenues dans une anse intestinale qui a reçu la solution ordinaire de sulfate de magnésie, le chien n'étant nullement sous l'action de la morphine.*

Dates.	Quantité de la solution de sulfate de magnésie injectée.	Durée.	Quantité retrouvée dans l'eau.
1er juin 1870.....	20	6 heures.	70
23 juillet 1868.....	30	6	74
27 août 1868.....	30	21	92
31 décembre 1868.....	20	5	125
14 juin 1870.....	20	22	130
15 juin 1869.....	20	22	166
17 juin 1869.....	20	19	200
12 juin 1868.....	35	16	275
2 juin 1870.....	20	24	335

EXPÉRIENCES

SUR

LES NERFS VASCULAIRES

EXPÉRIENCES

SUR

LES NERFS VASCULAIRES

1° Effacement des pulsations observé après la section des nerfs vasculaires satellites des artères.
2° Rôle du nerf grand auriculaire dans la vascularisation de l'oreille.

EFFACEMENT DES PULSATIONS OBSERVÉ APRÈS LA SECTION DES NERFS VASCULAIRES SATELLITES DES ARTÈRES.

J'ai décrit (p. 140), au chapitre intitulé *Expérience de la section des nerfs d'une anse intestinale*, le procédé opératoire que j'ai suivi et les quantités de liquide obtenues ; n'appelant l'attention que sur la sécrétion considérable de l'anse énervée, j'ai passé sous silence un phénomène qui s'est constamment présenté à mon observation, phénomène qui me parut d'abord étrange. Je crois devoir en parler ici.

Au moment où, dans l'opération de la section des nerfs d'une anse intestinale, je détruis les filets nerveux qui sont accolés aux vaisseaux, il se produit une diminution très-notable et souvent même une cessation complète des pulsations artérielles dans l'anse énervée, tandis que ces pulsations persistent dans les artères des anses voisines restées intactes.

Or tout le monde sait, depuis l'expérience célèbre de M. Cl. Bernard, que la section du filet cervical sympathique détermine dans toute la région correspondante, et particulièrement dans l'oreille, une circulation extrêmement active qui se manifeste immédiatement. Le phénomène inverse, qui s'est produit dans chacune de mes expériences sur l'intestin du chien, indiquant

que la circulation locale a diminué, est donc en contradiction avec les phénomènes que présente l'oreille du lapin après la section du filet cervical sympathique. De plus il est en désaccord avec le résultat final de l'expérience, c'est-à-dire qu'il indique une diminution dans la circulation locale d'une région qui fournit en quelques heures plusieurs centaines de grammes de liquide, quantité qui exige une circulation certainement abondante.

Ces contradictions m'ont préoccupé assez longtemps pour que je croie devoir montrer qu'elles ne sont qu'apparentes.

Dans toutes mes expériences, pour ne pas compromettre le résultat final, c'est-à-dire la production de liquide, je refermais avec soin la plaie de l'abdomen, aussitôt l'opération sur l'intestin terminée. Quand je voulus chercher à expliquer le fait singulier de l'effacement des pulsations, je dus d'abord m'assurer si cet effacement, que j'observai toujours au moment de l'énervation, était permanent; pour cela, après avoir énervé une artère, je fermai provisoirement la plaie, et je la rouvris à différents intervalles, dix, vingt, trente minutes. J'observai alors qu'au bout d'un quart d'heure environ, les pulsations avaient repris leur intensité.

Le phénomène était donc passager, consécutif immédiatement à l'opération, et déjà disparaissait la difficulté qui s'était présentée à l'esprit de comprendre une exagération aussi notable dans la sécrétion intestinale à la suite de la section des nerfs avec une circulation diminuée.

Expérience (vendredi 11 février 1870). — Chien de forte taille bien portant, très-long à chloroformiser. On ouvre le ventre : on remarque qu'il y a des pulsations dans les artères mésentériques, qui augmentent bientôt.

La couleur rouge et noire des artères et des veines est bien distincte, mais bientôt les veines deviennent plus rouges.

On énerve; on constate une diminution notable dans les pulsations de l'anse énervée; beaucoup moins fortes que dans les anses voisines, elles persistent cependant.

On ferme la plaie avec une serre-fine; le chien est calme.

Trente-cinq minutes après, le chien ayant été calme fort longtemps, mais se réveillant à ce moment avec quelques mouvements qui amènent la sortie de l'estomac par la plaie, on examine de nouveau.

Les pulsations dans l'anse énervée sont sensiblement égales à celles des autres anses.

Un quart d'heure après, le chien étant chloroformisé de nouveau et très-calme, on examine de nouveau : les pulsations ne sont pas très-fortes dans toutes les artères, mais on ne constate aucune différence entre l'anse énervée et les autres.

L'explication de ce phénomène passager de la disparition des pulsations se trouve dans ce qui suit : Je répétai sur le lapin l'expérience de l'énervation d'une anse intestinale et je constatai encore que les pulsations disparaissaient aussitôt. D'ailleurs l'anse énervée se remplit d'un liquide abondant, comme il arrive pour le chien. Mais j'observai sur cet animal ce que je n'avais pas remarqué chez le chien, savoir, que l'artère devenait pâle et comme exsangue à l'endroit où je coupais les nerfs qui lui sont accolés.

Je pensai donc qu'il fallait admettre une action locale d'irritation sur la fibre musculaire de l'artère, irritation produite par l'instrument que l'on dirige en vue d'écarter les nerfs et de les couper, et qui forcément rencontre le tissu artériel. Cette hypothèse a été vérifiée de la manière suivante :

J'opérai un chien et j'éloignai les nerfs de l'artère en ayant soin de ne pas les rompre. Les pulsations cessèrent; j'attendis un temps suffisamment long pour que les pulsations aient repris, je coupai alors les nerfs; cette section ne fit pas disparaître les pulsations. Ainsi la cessation des pulsations était due non à la section des nerfs, mais à l'irritation de la tunique musculeuse de l'artère produite par l'instrument, et au rétrécissement annulaire qui en est la conséquence, comme cela est surtout visible chez le lapin.

On voit donc, en expérimentant sur des nerfs accolés aux

artères, que l'on peut rencontrer un phénomène d'effacement des pulsations, et par suite de diminution de la vascularisation, phénomène qui variera suivant diverses conditions, par exemple le volume de l'artère et l'importance de sa tunique musculaire. Et l'on comprend que ce phénomène n'est pas en contradiction avec celui de la vascularisation abondante observée à la suite de la section du filet cervical sympathique, mais qu'il tient à une circonstance accidentelle, la lésion de la tunique musculaire.

SUR LE RÔLE DU NERF GRAND AURICULAIRE (NERF AURICULAIRE DU PLEXUS CERVICAL) DANS LA VASCULARISATION DE L'OREILLE DU LAPIN.

J'ai été conduit, en constatant l'effacement de la pulsation artérielle dans le rameau de l'artère mésentérique que je dépouillais de ses nerfs satellites, à pratiquer l'énervation d'autres artères.

En pratiquant l'énervation de l'artère carotide externe et en la faisant suivre de la section du nerf grand auriculaire (du plexus cervical) une vascularisation considérable de l'oreille s'est produite; il m'a paru bon de la signaler et de donner un procédé qui manifeste dans tout son éclat l'influence de la section des nerfs vasculaires, influence révélée par l'expérience classique de M. Claude Bernard, la section du filet cervical sympathique.

Dans un travail ayant pour titre: *Sur le rôle du filet sympathique cervical et du nerf grand auriculaire dans la vascularisation de l'oreille du lapin* (*Archives de physiologie normale et pathologique*, publiées par MM. Brown-Séquard, Charcot, Vulpian), j'ai donné les résultats des expériences que j'avais déjà faites. C'est ce travail que je reproduis ici, et au moment de le publier j'obtiens les mêmes résultats. Je me contenterai de citer les deux expériences qui suivent, en faisant remarquer que la section du filet cervical sympathique est substituée avec avantage à l'énervation de l'artère que je pratiquais dans mes premières recherches.

Première expérience (samedi 11 mai 1877). — Sur un lapin gris vigoureux, on pratique la section du sympathique du côté gauche et ensuite celle de l'auriculaire du côté droit. Il se forme une belle vascularisation des deux côtés, d'autant plus manifeste que l'animal, porté et effrayé avant l'opération, avait les oreilles toutes deux pâles. Le réseau fin est plus riche manifestement du côté droit, qui est celui du nerf auriculaire coupé. On l'effraie, la vascularisation disparaît des deux côtés; en outre on constate que la vascularisation ne disparaît pas des deux côtés de la même manière. Ainsi à l'oreille droite on constate, après avoir provoqué la frayeur en remuant le tabouret très-élevé sur lequel il est fixé, et le remuant sur le sol résistant et bruyant, que la pâleur se manifeste avec un rétrécissement beaucoup plus prononcé dans le tiers inférieur de l'artère centrale que dans les deux tiers supérieurs de la même artère; on voit même le sang dans ces deux tiers supérieurs affecter la forme d'un cône allongé dont le sommet est dirigé en bas. Laissant l'animal au repos, cette oreille droite reprend sa vascularisation exagérée; mais, au bout de quelques minutes, l'animal ayant toujours été au repos, on constate de la manière la plus nette le phénomène qui vient d'être décrit et qui avait été provoqué par un bruit effrayant l'animal. Ainsi, sous une influence intérieure, la partie inférieure de l'artère est visiblement rétrécie et exsangue, tandis que la partie supérieure est encore un peu élargie et contient du sang. En laissant encore l'animal au repos, on constate au bout de peu de minutes que le rétrécissement de la partie inférieure de l'artère centrale de l'oreille droite se manifeste sur la partie supérieure de l'artère centrale de l'oreille gauche, en sorte qu'en se reportant aux phénomènes que Schiff a signalés et décrits le premier, et que j'ai après lui bien des fois constatés, savoir l'alternative de la vascularisation et de la pâleur dans les oreilles du lapin, alternative qui se fait certainement sous une influence nerveuse, on voit, dans l'expérience présente, qu'en admettant une influence nerveuse partant des centres et se propageant par les nerfs intacts, on constate que cette influence s'exerce par le filet cervical sympathique et par le nerf grand auriculaire du plexus

cervical. En effet, dans l'oreille dont le filet sympathique est coupé (l'oreille gauche), le sang remplit l'artère dans sa partie inférieure, le nerf coupé ne pouvant transmettre l'influence contractante venue du centre, tandis que, dans les deux tiers supérieurs de cette même artère, la pâleur, l'absence du sang indique un rétrécissement dû à l'action du nerf grand auriculaire respecté; le phénomène est inverse dans l'autre oreille. Les conditions sont en effet inverses; le sympathique est respecté et le grand auriculaire coupé.

Lundi 13 *mai* (même lapin). — Les deux oreilles, au moment où il est apporté et examiné, sont pâles; on distingue facilement à l'oreille droite (côté de l'auriculaire coupé) la dilatation de la moitié supérieure de l'artère centrale, et à l'oreille gauche, côté du sympathique coupé, la dilatation du tiers inférieur de l'artère centrale.

On coupe alors le nerf grand auriculaire du côté gauche. Aussitôt on constate une vascularisation magnifique de toute cette oreille et en particulier des réseaux capillaires. On galvanise le bout périphérique de ce nerf auriculaire gauche avec un courant faible : on voit l'artère centrale, à partir du tiers inférieur, se rétrécir. Elle offre des nœuds, c'est-à-dire des points espacés où le calibre est tout à fait effacé, tandis qu'il persiste dans l'intervalle. Peu à peu l'artère centrale cesse d'être visible, et le réseau capillaire plus lentement pâlit, les grosses veines conservent plus longtemps leur calibre augmenté.

Le mardi 14, l'oreille gauche offre l'artère centrale dilatée dans toute la largeur. Le réseau capillaire, bien visible, n'a pas la turgescence de la veille. L'oreille droite offre une dilatation en forme allongée dans la partie supérieure de l'artère centrale; le tiers inférieur est effacé et exsangue.

Deuxième expérience. — Le 8 mai 1877, un lapin gris qui a subi la castration il y a deux ou trois jours est trouvé dans un état de tétanos permanent, mais sans une rigidité très-prononcée. On coupe le nerf grand auriculaire du côté droit et, l'on constate à partir de ce moment une vascularisation manifeste générale de

l'oreille du même côté, contrastant avec l'état de l'oreille gauche ; on cherche alors le nerf sympathique du côté gauche. Dans cette recherche, on constate la couleur foncée, l'état de réplétion des vaisseaux, qui montrent que l'animal est en état d'asphyxie. On fait la section du filet sympathique à gauche ; l'oreille présente alors une vascularisation très-belle, aussi belle que la droite. On galvanise le nerf auriculaire du côté droit dans son bout périphérique ; on obtient immédiatement le rétrécissement de l'artère médiane et, un instant après, celui des veines. L'expérience répétée donne très-nettement les mêmes résultats ; on pense que ce sont les extrémités les plus fines qui sont les premières à s'effacer. La galvanisation du filet cervical sympathique du côté gauche donne lieu immédiatement à la pâleur de l'oreille, le rétrécissement des vaisseaux s'opère sur le tronc de l'artère dans sa partie la plus inférieure.

Ces expériences reproduisent les conditions et les phénomènes des nombreuses expériences qui ont servi de base au travail que j'ai rappelé tout à l'heure et dont je reprends ici l'exposition.

Tout le monde sait que la section du filet cervical sympathique pratiquée par M. Cl. Bernard lui a révélé d'une manière incontestable l'influence du système nerveux sur les muscles des artères, et par suite le mécanisme des circulations locales.

M. Bernard a donné le précepte de bien choisir des lapins vigoureux, afin que le phénomène ait tout son développement et se présente aux yeux d'une manière éclatante. Mon but n'étant pas de montrer la vascularisation qui suit la section du filet sympathique cervical faite dans les meilleures conditions, mais de montrer le rôle du nerf grand auriculaire sur la circulation de l'oreille, je prends un lapin au hasard, même débile, et je pratique sur lui la section du filet déjà nommé. Si la vascularisation produite par la section du filet sympathique a été importante, on attend qu'elle soit effacée ; si elle est peu visible, on peut opérer sans attendre. Dans ces conditions, c'est-à-dire quand la vascularisation due au sympathique n'est plus mani-

feste, je coupe le nerf grand auriculaire, et je constate au bout de quelques secondes la présence d'un magnifique réseau sanguin qui couvre tout le pavillon de l'oreille du même côté.

(On atteint le nerf auriculaire très-facilement à l'aide d'une incision le long de la veine bien visible qui borde en arrière la glande parotide parallèlement à la branche montante de l'os maxillaire inférieur.)

On peut penser que la section préalable du filet cervical sympathique ayant déjà diminué la tonicité des artères, il suffit d'une impulsion un peu exagérée de la part du cœur, pour que l'artère, moins contractée se dilate et que le réseau sanguin apparaisse. Si donc la section du nerf auriculaire cervical, nerf très-sensible, provoque une exagération des battements du cœur, il est naturel que l'oreille, du côté qui a le filet sympathique coupé, se vascularise plus que l'oreille normale, puisque la tonicité de l'artère en est diminuée.

Mais cette hypothèse est inadmissible. En effet, j'ai vu que si l'on coupe le filet cervical sympathique droit et gauche, et qu'ensuite on coupe le nerf auriculaire d'un côté seulement, les deux oreilles ne se vascularisent pas; le réseau sanguin ne se montre que sur l'oreille du côté où le nerf auriculaire est coupé.

On ne peut donc considérer l'impulsion augmentée du cœur comme la cause du phénomène, car cette impulsion est la même pour les deux artères; et l'effet est tout différent pour chacune d'elles.

Peut-on admettre que c'est la section du nerf auriculaire qui provoque à elle seule la formation du réseau? Non; car si l'on pratique la section du nerf auriculaire cervical droit et gauche sur un lapin qui n'a préalablement subi que d'un seul côté l'énervation, ou, ce qui est plus simple, la section du filet cervical sympathique, on observe un contraste frappant entre les deux oreilles; celle du côté où le nerf auriculaire est seul coupé, est pâle, comparée à l'autre.

Les deux expériences que je viens de citer et qui détruisent les hypothèses précédentes, montrent aussi que la section de

l'auriculaire rend manifeste l'action déjà produite en coupant le filet cervical sympathique et en exagère singulièrement l'effet. On sait que Schiff a déjà affirmé, et avec raison, suivant moi, que le nerf auriculaire avait sur les vaisseaux de l'oreille une action analogue à celle du filet cervical sympathique. L'expérience qu'il a donnée de la section du nerf auriculaire cervical pris seul est cependant loin de donner des résultats aussi satisfaisants que celle de la section du filet cervical sympathique, et, quoique je reconnaisse la valeur du travail de Schiff, je n'ai pas été étonné de rencontrer des physiologistes expérimentateurs qui, en face des résultats si souvent fugaces ou indécis que donne la section de l'auriculaire seul, ne lui reconnaissent pas la propriété que possède le filet sympathique cervical. Dans l'expérience telle que je la pratique, il n'y a plus, je crois, de place pour l'incertitude.

Je passe actuellement à l'explication que je propose.

J'ai vu souvent, à la suite de la section du sympathique, la vascularisation faire défaut dans la moitié supérieure de l'oreille; l'artère centrale du pavillon offrait alors un cône rouge dû au sang qui dessine la forme intérieure de l'artère ; ce cône montre qu'elle est dilatée en bas et rétrécie en haut.

J'ai vu pareillement un autre cône rouge se former au même niveau, le nerf auriculaire cervical étant seul coupé; ce cône est alors renversé, son extrémité effilée est dirigée du côté du cœur et montre que de ce côté l'artère est contractée, tandis qu'elle est dilatée du côté de la périphérie.

Cette observation montre bien que les deux nerfs cités jouent chacun leur rôle dans la vascularisation générale du pavillon de l'oreille, le sympathique animant surtout la région inférieure; l'auriculaire, la supérieure.

Dans l'opération qui consiste à couper un de ces deux nerfs, opération qui provoque la dilatation des vaisseaux animés par ce nerf, s'il arrive que le nerf conservé intact tient les artères qui sont sous sa dépendance dans l'état de relâchement, le phénomène se produit alors d'une manière générale et est manifeste dans toute l'oreille. Mais il peut arriver que le nerf qui n'a pas

été coupé maintienne dans un état de contraction les artères qu'il anime. Alors le phénomène ne se produira que d'une manière partielle et plus ou moins dissimulée.

Par exemple, le nerf sympathique étant coupé, si l'auriculaire laissé intact vient à faire contracter les vaisseaux qui sont sous sa dépendance, toute la moitié supérieure du pavillon pâlira, et cette moitié est la plus découverte et la plus visible. Le phénomène n'aura d'intensité que dans les parties profondes de la base de l'oreille, c'est-à-dire dans une région que l'abondance des poils cache à l'observateur.

Au contraire, l'auriculaire étant seul coupé, si le sympathique vient à faire contracter les artères qu'il anime, celles-ci, qui sont les origines des vaisseaux de l'extrémité libre du pavillon, ne fournissent plus qu'une partie du sang qu'elles devraient fournir, et la pression intérieure diminuant, l'ampliation des artérioles se fait mal, ou d'une manière incomplète dans la région supérieure du pavillon, malgré le relâchement des tuniques contractiles, effet immédiat de la section du nerf auriculaire.

En raison des motifs que je viens d'exposer, je crois bon de pratiquer la double section du filet sympathique cervical et du nerf grand auriculaire pour obtenir plus sûrement une vascularisation générale de l'oreille externe,

Je n'ai pas à parler ici en ce moment des conditions qui peuvent diminuer ou annihiler les phénomènes, par exemple la syncope, et, d'une manière générale, toute condition qui amène un abaissement dans la pression du sang.

Parmi les expériences nombreuses que j'ai faites, je rappelle seulement ici celles dont j'ai montré le résultat à plusieurs savants. Dans l'une, il s'agit d'un lapin qui avait subi la section du filet sympathique des deux côtés, et de plus la section de l'auriculaire. Dans l'autre, le lapin avait subi la section des deux auriculaires et de plus la section du filet sympathique d'un côté. Chez ces deux lapins, le contraste existant entre la vascularisation exagérée de l'oreille correspondante à la double section et la pâleur de l'oreille qui n'a subi qu'une simple section,

montrait que chacun des nerfs en question complète l'action de l'autre.

J'ai parlé de la vigueur de l'animal. Cette condition, qui a été recommandée par M. Cl. Bernard lors de sa découverte capitale des nerfs vaso-moteurs et calorifiques, a une importance réelle, si l'on veut observer d'une manière éclatante tous les phénomènes dont il est ici question.

L'observation montre chez l'animal fatigué, affaibli, une différence très-grande dans l'intensité des phénomènes, comparés à ce qu'offre l'animal vigoureux. Cherchons à nous rendre compte de cette différence. On doit admettre au-dessous de la région de l'artère qu'anime le nerf sympathique une région dans laquelle le sang arrive avec une abondance qui varie, et les conditions de cette variation, pour ne pas être toujours faciles à préciser, n'en agissent pas moins d'une manière très-nette, produisant des effets très-visibles dont je vais dire un mot pour achever de décrire ce que j'ai vu.

Si l'on réalise la section du nerf grand auriculaire, on obtient, comme je l'ai répété plusieurs fois, la dilatation de l'artère centrale du pavillon dans ses deux tiers supérieurs, ainsi que la vascularisation du réseau capillaire; mais ces phénomènes ne se présentent dans tout leur développement, dans tout leur éclat, qu'autant que la région inférieure, je veux dire le tiers inférieur de l'artère centrale du pavillon, est elle-même dilatée, turgide, fournissant abondamment pour les vaisseaux dilatables qui suivent en aval le sang qu'ils semblent attendre et aspirer.

La preuve s'obtient en coupant, outre l'auriculaire, le filet cervical sympathique, et, après avoir constaté la magnifique vascularisation qui résulte de cette double section, la preuve s'achève en galvanisant le bout périphérique du filet cervical. Bientôt le rétrécissement se produit dans la partie inférieure de l'oreille, et la région supérieure animée par le nerf auriculaire ne conserve plus au même degré son état de dilatation. Sans que l'on galvanise le bout périphérique de l'auriculaire, on voit

les artères diminuer de volume, le sang devenir rare, la pâleur commencer.

Eh bien, cette dépendance que nous venons de rappeler de la partie extrême de l'arbre vasculaire de l'oreille par rapport à sa partie inférieure, se retrouve plus bas, comme si d'autres nerfs se distribuaient aux artères placées entre le cœur et la partie qu'anime le filet cervical sympathique.

Il peut y en avoir; mais l'état de plénitude des artères, chez l'animal vigoureux, état entretenu par le fonctionnement régulier du cœur, constitue une condition qui joue un rôle très-important dans ces phénomènes de vascularisation ainsi observés sur les vaisseaux de l'oreille. En son absence, les actions des nerfs vasculaires seront tellement diminuées, qu'elles pourront paraître douteuses à des observateurs qui n'ont pas une grande habitude de l'étude de ces phénomènes. Au contraire, cette condition est-elle satisfaite, alors les influences nerveuses locales, soit de constriction, soit de relâchement, se verront de la manière la plus manifeste, la plus éclatante. Il importe donc de revenir sur ces conditions de plénitude, de tension des vaisseaux artériels. La santé n'est pas la seule circonstance dans laquelle elles se rencontrent. Sur un lapin tétanisé offrant un état asphyxique, caractérisé par la couleur noire des tissus, le sang à la périphérie, avec contraction des muscles de la poitrine et généralement de tout le corps, j'ai observé dans un très-beau développement les phénomènes qui sont sous la dépendance du filet cervical sympathique, ainsi que ceux qui dépendent du nerf grand auriculaire, suivant que je considérais l'effet de la section ou celui de la galvanisation du bout périphérique de ces nerfs. Je pense qu'il faut rapporter à l'état de plénitude du système sanguin, suite de la contraction permanente du système musculaire, l'abondance de sang qui affluait vers la périphérie quand les nerfs coupés ne créaient aucun empêchement. Je pense qu'ici on peut dire que l'état de pléthore morbide était tout aussi favorable à l'observation des phénomènes en question que l'est d'habitude l'état parfait de santé et de vigueur.

Les phénomènes que l'on observe peuvent être résumés comme il suit :

La section du filet sympathique cervical donne lieu à la dilatation de l'artère centrale du pavillon de l'oreille dans son tiers inférieur. Cette augmentation dans la masse du sang est une très-bonne condition pour l'ampliation de la partie supérieure de l'artère centrale du pavillon. Aussi voit-on souvent le phénomène de la dilatation de tous les vaisseaux du pavillon de l'oreille suivre la section du filet cervical sympathique, mais il n'en est pas moins vrai que telle circonstance qui, dans les centres nerveux, vient par l'intermédiaire du nerf grand auriculaire produire la contraction des artères de la partie supérieure de l'oreille, donne lieu au resserrement de ces vaisseaux, et le phénomène cherché de la vascularisation perd alors une grande partie de son éclat. On peut aussi provoquer ce rétrécissement de la partie supérieure de l'oreille en galvanisant le bout supérieur du nerf grand auriculaire préalablement coupé.

On sait que la galvanisation du bout périphérique du filet cervical sympathique produit le rétrécissement des vaisseaux de l'oreille; la condition pour qu'un vaisseau possède du sang étant qu'il en reçoive, on comprend que les parties de l'arbre artériel qu'animent les filets du nerf auriculaire ont la source du sang tari lorsque les artères en amont sont contractées.

La section du nerf grand auriculaire faite au moment où il contourne la base du pavillon donne lieu à l'élargissement de l'artère centrale du pavillon de l'oreille dans ses deux tiers supérieurs.

La galvanisation du bout périphérique du nerf coupé donne lieu au resserrement de la partie correspondante de l'artère.

Il est clair que si une cause artificielle ou naturelle, comme on en rencontre dans les expériences que je décris, vient à rétrécir une portion de l'artère, toute la partie de l'arbre vasculaire qui est au delà de cette portion, se trouvant privée d'une quantité de sang nécessaire à sa complète dilatation,

n'offrira que d'une manière faiblement apparente le phénomène de la dilatation vasculaire. Elle l'offre cependant encore d'une manière manifeste. Et si le sang n'arrive qu'à peine dans l'artère centrale du pavillon lorsque le nerf grand auriculaire est coupé, on constate cependant l'état de dilatation des deux tiers supérieurs de cette artère par des sortes de nœuds ou de ventres qu'elle offre sur son trajet, et où le sang accumulé semble stagner, ces ventres ne s'effaçant que si l'on vient à galvaniser le bout périphérique de ce nerf auriculaire coupé.

J'ai rencontré constamment, dans les nombreuses expériences que j'ai faites sur ce sujet, les phénomènes que Schiff a le premier décrits, savoir, les alternatives de fluxion sanguine et d'anémie de l'oreille. On les verra très-bien si l'on prend un lapin dans toute la vigueur de l'âge et de la santé, avec des oreilles grandes, bien saines et couvertes d'un poil clair que l'on coupe au besoin. Il importe d'observer l'animal dans de bonnes conditions, de ne pas se fier toujours à un serviteur qui prend brusquement l'animal par les oreilles ou le rudoie avant de vous le donner.

L'animal en bonne condition, calme, offre ces phénomènes très-prononcés. Il faut encore savoir les attendre. On place le lapin sur un tabouret très-élevé, sans l'agiter, et quand en une demi-heure, par exemple, on a bien suivi le rhythme de ces alternatives, on agit sur un nerf, soit sur le sympathique, soit sur le nerf grand auriculaire au lieu d'élection (à l'endroit où il atteint le pavillon de l'oreille). Suivant que l'un ou l'autre de ces nerfs est coupé, on observe dans la vascularisation de l'oreille les effets particuliers de la section de ces nerfs, effets qui modifient consécutivement les phénomènes rhythmiques de fluxion et d'anémie.

La solidarité qui existe entre les vaisseaux d'une même région peut faire que l'effet produit par la section d'un nerf sera diminué ou même tout à fait dissimulé, dans le cas où l'autre nerf vient à agir sur les vaisseaux de la région d'une manière opposée.

Le nerf auriculaire cervical et le filet sympathique cervica sont précisément deux nerfs qui doivent agir simultanément dans le même sens pour que l'effet produit soit maximum. S'ils agissent en sens contraire, l'un faisant contracter les vaisseaux pendant que la section de l'autre tend à faire dilater les vaisseaux voisins, la dilatation ne sera plus maximum, elle pourra être assez diminuée pour devenir insensible. J'ai dit plus haut comment, en considérant le point où se distribue chacun de ces nerfs, on comprend que si la section de l'auriculaire seul coïncide avec un état de contraction des artères situées plus près du cœur, sous la dépendance du filet sympathique cervical, la dilatation du réseau de la partie supérieure de l'oreille sera singulièrement diminuée, puisque la masse et l'impulsion du sang, et par suite la pression intérieure que l'artère doit subir pour se dilater, seront diminuées. J'ai dit aussi que, pour une raison différente, la section du nerf sympathique seul ne produirait point un effet de dilatation bien apparent toutes les fois que le nerf auriculaire exagère l'état de tonicité des vaisseaux placés sous sa dépendance, parce que ces vaisseaux sont précisément ceux qui occupent la partie supérieure du pavillon de l'oreille, c'est-à-dire la partie la plus transparente et la plus facile à observer.

Procédé. — Le physiologiste qui veut voir, le professeur qui veut montrer l'influence de la section des nerfs vasculaires sur l'apparition d'un réseau sanguin bien développé, doit, d'après ce que je viens de dire, ne pas se contenter de la section du filet cervical sympathique, mais pratiquer, soit avant, soit après cette section, celle du nerf grand auriculaire. Ce dernier nerf est très-facile à mettre à nu au bas du pavillon de l'oreille, en arrière de la branche montante de l'os maxillaire inférieure; sa position superficielle rend facile l'excitation électrique du bout périphérique de ce nerf.

Il convient aussi de se préoccuper des conditions générales sans lesquelles les influences nerveuses vaso-motrices sont effacées et peu visibles. L'état de pléthore, l'état de vigueur, et certains états morbides, tels que celui dont j'ai donné un

exemple, savoir le refoulement du sang dans les vaisseaux par suite de l'état de contracture générale des muscles, doivent être appréciés par l'expérimentateur. Mais ce n'est pas ici le lieu d'insister sur ces conditions générales, attendu que leur importance n'est pas moins grande avec les autres procédés de recherche des phénomènes de vascularisation.

CONSIDÉRATIONS GÉNÉRALES

CONSIDÉRATIONS GÉNÉRALES

§ 1er.

L'étude d'une fonction spéciale à une espèce animale place tour à tour l'observateur au point de vue de la physiologie comparée et au point de vue de la physiologie générale.

Exemples tirés de l'étude de la vessie natatoire et de l'organe électrique des poissons.

Nous pouvons, dans l'état actuel de la science, reconnaître que les manifestations de la vie les plus différentes, les plus singulières, se ramènent à des conditions communes que l'analyse réduit à un petit nombre à mesure qu'elle pénètre plus avant. Ainsi se constitue la physiologie générale.

J'essayerai de montrer, par des exemples tirés de mes propres expériences, que tel problème de physiologie comparée ne peut s'éclairer complétement que par la science tout entière, et que, réciproquement, la physiologie générale emprunte aux fonctions les plus spéciales, les plus exceptionnelles, les données indispensables à sa propre édification.

La physiologie générale et la physiologie comparée puisent en effet aux mêmes sources : elles reposent sur l'observation, et l'une, considérant les derniers termes de l'analyse, les trouve communs aux problèmes que soulèvent les fonctions des animaux les plus divers ; elle se met donc au point de vue de ces propriétés communes ou générales, tandis que l'autre étudie ces mêmes termes seulement en tant qu'ils éclairent une fonction ou un phénomène propre à une espèce vivante particulière.

Le physiologiste qui fait des recherches sur une espèce ani-

l'opinion que l'air des vessies qui possèdent un canal aérien est emprunté à l'atmosphère, opinion que je combats dans ce travail et que l'on trouve formulée dans beaucoup d'ouvrages et notamment dans les passages suivants :

« Marc-Aurèle Severinus émit l'opinion que l'air de cette » vessie était né avec le poisson; ce qui prouve qu'il n'avait » aperçu aucune communication au dehors (p. 166).

» Borelli supposa que le canal qui établit dans certains pois- » sons une communication entre la vessie et l'estomac doit être » un moyen de faire varier la quantité de l'air ou de le renou- » veler (p. 167).

» Perrault fit l'importante observation qu'il y a des poissons » sans aucun canal, et que c'est dans ceux-là que se trouvent les » corps rouges destinés à la séparation de l'air.

» Malgré l'observation de Perrault, Artedi attribua encore » à toutes les vessies un canal destiné, selon lui, à l'intro- » duction de l'air (p. 168). »

(Voyez le Rapport fait à la Classe des sciences physiques et mathématiques sur le mémoire relatif à la vessie aérienne des Poissons, par G. Cuvier, *Annales du Muséum*, 1809, p. 166 et suivantes.)

Cuvier et d'autres auteurs avec lui admettent que pour les vessies closes, l'air est sécrété par les corps rouges, organes spéciaux que l'on rencontre toujours dans ces sortes de vessies et qu'ils ont décrits comme les organes de sécrétion de l'air. Le fait que je signale de la formation de l'oxygène chez des poissons privés de ces corps rouges ne contredit pas cette manière de voir; il montre que la formation de l'air intérieur peut avoir lieu sans leur présence.

Ces questions de physiologie générale, formation, absorption d'oxygène, furent les premières qui m'occupèrent, et cependant l'usage de la vessie natatoire comme appareil hydrostatique, question de physiologie spéciale, fut celle dont la solution sortit la première de mes expériences. J'avais vu, en pêchant dans la mer, des poissons qui ne pouvaient supporter un changement très-léger, mais brusque, de pression sans éprouver la rupture

de la vessie aérienne; j'avais vu aussi dans mes premières expériences l'organe reformer toujours plus ou moins vite la quantité de gaz que je lui enlevais. Ces observations me conduisirent à des expériences qui fixent le rôle hydrostatique de la vessie natatoire et résolvent une question de physiologie comparée; qu'il me suffise de faire remarquer ici que les résultats que j'ai obtenus pendant les recherches prolongées que j'ai faites sur ce sujet m'ont, comme on le voit, placé tour à tour en face de questions de physiologie générale ou de physiologie comparée.

C'est à cette dernière science que revient la solution suivante tirée du mémoire ci-joint.

La vessie natatoire n'est point un organe de locomotion, mais elle est un organe d'équilibration.

L'équilibre est obtenu, non point par le jeu des muscles, mais à l'aide de l'air intérieur, dont la quantité varie en raison directe de la pression extérieure et par l'intermédiaire du système nerveux régulateur de cette variation.

Il suit de là que cet organe donne et conserve au poisson qui séjourne dans un plan horizontal quelconque une densité rigoureusement égale à celle de l'eau, quelle que soit la profondeur de ce plan; hors de ce plan d'équilibre, il subit passivement dans sa densité une variation proportionnelle à l'écart de sa position nouvelle avec le plan d'équilibre. Cette variation, qui peut lui être fatale, est corrigée peu à peu par le travail physiologique et régulateur de l'organe relatif à la quantité de l'air intérieur.

D'une manière générale, le poisson muni de vessie natatoire appartient pour un temps à une zone située à une profondeur particulière, dont il ne sort pas sans danger, sauf en se soumettant à une lente accommodation.

L'étude de la fonction particulière que présente la torpille électrique va pareillement nous placer tour à tour à ces deux points de vue.

On voit, en effet, page 90, une observation qui montre que la faculté de produire la décharge électrique est développée avant même le moment où la jeune torpille a quitté l'utérus,

en sorte qu'elle se trouve à sa naissance déjà capable de se protéger contre ses ennemis.

Ce résultat intéresse la physiologie spéciale du poisson.

Les suivants ont un intérêt d'un autre caractère. La manière dont se forme cette électricité est obscure. J'ai cherché à l'éclaircir par des expériences qui montrent que les tissus de l'organe, s'ils sont pénétrés par l'acide nitrique, deviennent inaptes à produire l'électricité, tandis que l'acide sulfurique ne détruit pas leur aptitude ; que l'action des nerfs est efficace même quand les vaisseaux de l'organe sont remplis de suif, et qu'ainsi le rôle du sang n'est pas immédiatement nécessaire dans le fonctionnement de l'organe.

Dans une autre expérience, je suis parvenu à retenir l'électricité de la torpille captive dans un condensateur. Or, tous ces résultats, en tant que relatifs à la manière dont l'électricité se produit au sein des tissus, à la nature de ce fluide, qui se comporte d'une manière identique au fluide produit dans les conditions connues de la nature inorganique ; ces résultats, dis-je, ont rapport à des questions de physiologie générale.

Ainsi, tour à tour et sans le chercher, je me suis trouvé, en poursuivant ces études, placé en face de questions qui, alternativement du domaine de la physiologie générale ou du domaine de la physiologie comparée, peuvent parfois être considérées comme relatives à toutes deux.

Il convient de ne pas insister davantage, car une science n'est qu'un point de vue de l'esprit, et en face de la nature, dans les recherches de l'inconnu, les points de vue sont sujets à changer ; mais si ce n'est une science particulière, c'est du moins la science qui profite et s'accroît par tous les faits nouveaux que révèle l'observation.

§ 2.

Les faits ne se contredisent jamais. La critique doit montrer que les contradictions ne sont qu'apparentes.

Nous avons en face de la nature le sentiment de sa complexité que nous exprimons de plusieurs manières, entre lesquelles je cite le mot bien usité et très-juste : « Nous ne savons le tout de rien. » En présence de cette complexité, la science consiste à déterminer les conditions de certains phénomènes, et elle se constitue en vérifiant l'explication qu'elle a donnée comme juste. Ainsi nous ne tenons pour expliqué un phénomène qu'autant que les conditions nécessaires et suffisantes ont été bien précisées et que les vérifications ont justifié le rapport admis entre le phénomène et les conditions. Je n'entreprendrai pas de traiter ici de la méthode expérimentale, je rappellerai seulement l'expression employée par M. Chevreul : « Méthode *à posteriori* expérimentale », qui contient implicitement le précepte capital de soumettre à une vérification expérimentale les hypothèses, c'est-à-dire les conditions supposées bonnes du phénomène à expliquer.

Les faits fournis par l'observation sont la base de la science, et nous sommes invinciblement portés à les expliquer, c'est-à-dire à les rapporter à leurs conditions d'origine ; je ne dis point à leurs causes, parce que nous pouvons constater, nous pouvons nous assurer par des contrôles bien choisis que les conditions des phénomènes ont été réellement bien fixées et scientifiquement établies, mais nous n'avons point pour cela une notion parfaite du lien nécessaire qui unit ces conditions avec le phénomène, et le mot « cause » implique cette notion. Il convient donc ici de ne parler que des conditions.

Or, il arrive quelquefois que des expérimentateurs publient des faits, je veux dire des phénomènes qu'ils rapportent à des conditions déterminées, tandis que d'autres expérimentateurs donnent ces mêmes conditions comme déterminant des phénomènes différents.

Il est impossible d'admettre que les conditions étant les mêmes, les phénomènes résultant de ces conditions ne seront pas les mêmes; c'est un principe sans lequel la science expérimentale n'a pas de raison d'être.

L'exemple que je vais rapporter montre que les contradictions entre les faits ne sont qu'apparentes.

On admet généralement que certaines substances, telles que le sulfate de magnésie, de soude, etc., produisent, quand elles sont mises dans l'intestin, une quantité de liquides plus ou moins considérable, liquides qui sont rejetés ordinairement au dehors et accusent l'action de ces substances.

Deux auteurs allemands, Thiry, qui avait étudié au laboratoire de Ludwig, à Leipzig, et, après lui, Radzejewski, ont employé, pour mieux étudier la physiologie de l'intestin, le procédé suivant :

Une anse d'intestin est coupée à ses deux extrémités. On réunit les deux bouts flottants de l'intestin de manière à rétablir la continuité du canal digestif, qui se trouve, après guérison, diminué de toute la longueur de l'anse détachée. Cette anse isolée, flottant dans l'abdomen, est fixée par son extrémité inférieure à la paroi de l'abdomen en formant une anse artificielle, tandis que le bout supérieur est oblitéré par l'adossement des tuniques séreuses que l'on suture. La vie persiste parce que le mésentère, les vaisseaux et les nerfs ont été soigneusement respectés.

Or, les deux auteurs que j'ai cités ont dit avoir constaté que les solutions de sulfate de magnésie placées dans des anses ainsi isolées ne fournissaient pas de liquides, et, pour expliquer l'évacuation plus ou moins abondante de liquide qui suit habituellement l'ingestion des solutions salines citées dans l'estomac, ils ont admis simplement une action de ces solutions sur les

fibres motrices de l'intestin, action accélérant les mouvements péristaltiques, et, par suite, provoquant l'expulsion des liquides contenus déjà dans la cavité intestinale.

Pour moi, dans des expériences nombreuses, j'avais formé des anses intestinales en appliquant deux ligatures à 15 ou 20 centimètres de distance sur la continuité de l'intestin, et, à l'aide d'un trocart très-fin glissé obliquement dans l'épaisseur des parois, j'avais injecté une solution de sulfate de magnésie dans ces anses. Le résultat constant de ces expériences avait été la formation d'une quantité énorme de liquides qui restaient dans l'anse et le distendaient considérablement.

Ce résultat, conforme à ce qui est généralement admis, était opposé à celui que publièrent, chacun de son côté, Thiry et Radzejewski.

Ces auteurs avaient mis des solutions de sulfate de magnésie dans des anses isolées suivant leur méthode, et n'avaient rien retrouvé. Ils admirent qu'il y avait eu absorption des liquides salés, mais non production de nouveaux liquides. Que penser en face de faits tels que ceux que je rapporte?

Admettre que dans l'anse appartenant à la continuité de l'intestin et isolée simplement par deux ligatures, le sel de magnésie provoque la formation de liquides, tandis qu'il ne la provoque pas sur l'anse séparée de l'intestin en deux points, mais conservant avec le mésentère tous les vaisseaux et les nerfs qui établissent ses relations physiologiques avec le corps entier? On ne le peut, car la vitalité de l'intestin dans une anse isolée est trop semblable à la vitalité d'une anse prise dans la continuité, pour admettre cette différence d'action. Croire que les auteurs se sont trompés, ou que moi-même je me suis trompé? Pour ce qui est du résultat de mes expériences, il est conforme à l'opinion reçue et de plus il s'est présenté à moi d'une manière trop nette et dans des conditions expérimentales trop simples et trop faciles à apprécier pour me laisser quelque inquiétude. Les auteurs que je cite se sont-ils trompés? Je ne pouvais le dire qu'en voyant où était l'erreur, car ils ont certainement constaté l'absence de liquides formés dans l'anse intestinale. Je cher-

chai à comprendre comment ce résultat négatif s'était rencontré sous leurs yeux.

En face de ces affirmations singulières apportées par des hommes dignes de foi, je me suis appliqué à obtenir ce qu'ils avaient obtenu, persuadé qu'il se rencontrerait, comme l'événement l'a montré, une circonstance ou condition capitale qui différencie les deux faits; car le principe qu'il n'y a pas de contradiction dans la nature se vérifie toujours, et quand on ne parvient pas à le vérifier, on ne doit pas moins être assuré de sa solidité.

Le récit détaillé des expériences est donné à la page 128. Je ne dois indiquer ici que la suite des essais, parce que je ne veux montrer que la méthode que j'ai suivie. Je fis d'abord une expérience qui est intermédiaire par ses conditions entre l'expérience de l'anse formée par deux ligatures sur la continuité même de l'intestin, et l'anse isolée et fixée par l'un de ses bouts, et que nous appellerons, comme on le fait en Allemagne, l'anse de Thiry. En d'autres termes, je formai une anse en plaçant deux ligatures sur l'intestin à une distance convenable, et j'injectai, suivant les règles, dans cette anse, la solution magnésienne; je sectionnai ensuite l'intestin au delà des deux ligatures, et je rétablis la continuité du canal digestif en réunissant les deux bouts libres : l'anse resta dans l'abdomen et se remplit de liquide dans quelques heures.

Ce résultat était conforme au résultat ordinaire. Je pratiquai sur un autre chien la fistule de Thiry, et aussitôt, c'est-à-dire avant d'attendre que le bout libre dans l'intestin fût cicatrisé, je plaçai la solution dans cette anse de Thiry, et pour être assuré de la solidité du cul-de-sac formé par le rapprochement des parois, je plaçai une ligature un peu en avant de ce cul-de-sac. Du côté de l'anus artificiel, je fis aussi une ligature; le résultat fut encore le même: l'anse se remplit de liquide. Je le constatai sur deux animaux différents. Dans les conditions réalisées par les auteurs cités, l'anse de Thiry, une fois faite, la cicatrisation des plaies et la guérison de l'animal étaient attendues. Je réussis dans l'expérience du 1er août 1871 à former une anse

de Thiry sur un chien, qui huit jours après se portait très-bien. Je pouvais sur ce chien pratiquer l'injection dans cette anse et oblitérer l'anse artificielle. Mais cette oblitération m'embarrassait ; je craignais que la solution ne sortît au dehors, malgré les obstacles que je fixai de mon mieux dans cette ouverture. Pour être plus sûr que la solution saline ne ressortirait pas, je rouvris la plaie faite à la ligne blanche sur le chien préalablement chloroformisé, et par l'ouverture que je fis je plaçai une ligature dans l'intention de serrer l'intestin du côté de la paroi abdominale et d'empêcher toute sortie des liquides à l'extérieur. Il arriva que la ligature, mal appliquée, n'oblitérait pas l'intestin : je ne trouvai pas le liquide dans l'anse. La solution injectée avait pu sortir au dehors ; cependant je me demandai si elle ne pouvait aussi bien s'échapper par l'extrémité opposée, si le tissu de nouvelle formation qui oblitérait le cul-de-sac suffisait pour retenir du liquide dans une anse distendue. J'injectai donc la solution dans l'anse mise à nu de cet animal, mort depuis quelques instants, et je vis qu'elle suintait et s'échappait dans le péritoine. Ainsi la distension que l'anse subit quand on injecte la solution saline, ou la distension plus grande encore qui se produit à la suite de la formation des liquides nouveaux peut suffire pour rompre ce nouveau tissu et faire couler les liquides dans le péritoine.

On trouve alors nécessairement vide l'anse dans laquelle on avait injecté la solution saline ; c'est, je pense, ce qui est arrivé dans les expériences des auteurs allemands.

Cependant, avant de m'arrêter à cette supposition, je fis l'expérience suivante, pour voir si une pareille solution saline, passant dans le péritoine, ne donnerait pas lieu à quelque phénomène appelant l'attention de l'expérimentateur. Je pris un chien que j'eus soin de ne pas chloroformiser ; j'injectai par la ligne blanche, dans le péritoine, la solution saline ordinaire. Ce chien ne manifesta aucune douleur et absorba cette solution sans éprouver aucun phénomène insolite. Ainsi le passage, dans le péritoine du chien, de la solution saline ordinaire, ne provoque pas d'accidents ni de phénomènes saillants.

Je continuai, et sur une anse de Thiry cicatrisée, que j'assujettis pour plus de sûreté par une ligature placée à chaque extrémité, j'obtins avec la solution habituelle une distension considérable produite par les liquides intestinaux.

En résumé, on voit qu'en opérant sur l'anse de Thiry ou sur une anse prise dans la continuité de l'intestin, la solution de magnésie provoque bientôt l'accumulation d'une grande abondance de liquide. On voit aussi que j'ai retrouvé ce que les observateurs avaient vu, savoir : l'absence de liquides ; mais la condition essentielle de l'expérience, savoir, la conservation des liquides injectés ou formés, faisait défaut ; le fait admis n'était que supposé. Le fait véritable était l'échappement des liquides par l'une des extrémités de l'anse, et non ce que l'on pensait, savoir, l'absorption par la muqueuse de la solution magnésiée sans produire de liquides nouveaux. Il y avait erreur sur les conditions du fait. On ne peut dire que le fait était faux, parce qu'un fait n'est jamais faux. Il n'y a de fausseté que dans l'interprétation, c'est-à-dire dans le jugement par lequel on rapporte certains effets à des conditions qui ne les déterminent pas. On doit dire ici, il y a eu erreur sur les conditions de l'expérience. Les auteurs étaient des hommes dignes de foi et très-instruits, et cependant, malgré leur habileté, ils avaient laissé échapper une circonstance qui rendait nulle l'expérience. La critique a consisté à chercher comment les auteurs ont pu voir ce qu'ils ont vu, et à montrer que l'absence de liquides était due à une circonstance accidentelle, mais capitale. On voit par cet exemple que la contradiction entre les faits observés n'était qu'apparente. On doit penser qu'il en est toujours ainsi. La science ne serait pas, si l'on admettait que des conditions semblables n'engendrent pas des phénomènes semblables.

Si des faits paraissent contradictoires, on doit chercher les conditions que l'on croit réalisées dans l'un et dans l'autre cas, et qui constituent leur prétendue identité. On trouvera que l'une au moins des conditions essentielles diffère dans les deux faits, et qu'ainsi ils ne doivent pas être considérés comme semblables, ayant les mêmes conditions avec des effets différents.

Dans un examen critique ainsi fait sans pouvoir interroger les auteurs consciencieux des travaux qui servent de base à une théorie singulière, on risque d'admettre une cause d'erreur, tandis que c'est une autre condition qui était essentielle aussi et qui a été négligée (ces auteurs ont disparu, enlevés tous deux par une mort prématurée) ; comment pourrais-je affirmer que la cicatrice du bout supérieur de l'anse intestinale chez les chiens opérés par eux était réellement sans résistance et a cédé ? Qui sait si toute autre circonstance ne s'est pas présentée ? Par exemple, la solution à injecter est placée dans un verre ; il arrive par erreur que l'on injecte de l'eau pure placée dans un verre semblable. Cette eau est absorbée et aucun liquide intestinal ne s'amasse. Cela n'est pas impossible ; mais j'ai considéré comme la plus probable la condition qui s'est rencontrée dans mes expériences, et qui pouvait le mieux passer inaperçue.

§ 3.

Les conditions essentielles à la vie sont les mêmes chez les divers animaux.

A l'appui de cette proposition de physiologie générale, je donnerai un exemple tiré de mes expériences.

Si l'on considère un homme vivant dans une cloche à plongeur à plus de 40 mètres de profondeur, on sait que cet homme, ramené à la surface de l'eau, éprouve plusieurs accidents, et même succombe s'il a été ramené sans une grande lenteur. Cependant le poisson qui vit à la même profondeur et supporte la même pression, est souvent ramené brusquement à la surface, et jamais il n'éprouve rien de semblable. Je ne considère pas le poisson muni de vessie natatoire, j'en parlerai plus loin, parce que ce qu'il éprouve n'a rien de commun avec ce que l'homme subit. Ramené brusquement d'une grande profondeur, il ne court aucun des dangers qui menacent l'homme passant d'une pareille pression à la pression atmosphérique ordinaire. Ce n'est pas à une différence de nature entre l'homme et le poisson qu'est due cette différence dans le sort de l'un et de l'autre. La colonne d'eau qui les comprime est la même, elle équivaut à plus de 4 atmosphères. L'air de la cloche à plongeur supporte cette pression, et cet air est directement en relation avec le sang de l'homme dans les poumons ; le sang de l'homme se charge des gaz de l'air en raison de cette pression, et c'est là ce qui constitue le danger qui menace l'homme quand il revient à la surface de l'eau, où il ne supporte plus qu'une pression atmosphérique. Les gaz dissous à une pression supérieure se dégagent rapidement et sur tous les points et constituent des collections qui, sous forme de bulles plus ou moins grosses, dila-

tent les petits vaisseaux, mais en constituant des sortes de chapelets qui arrêtent la marche du sang. Il peut même se faire des ruptures et différentes lésions tantôt rapidement mortelles, tantôt donnant lieu à des paralysies. Considérons maintenant le poisson qui nage au niveau de la cloche à plongeur ; il est soumis à la même pression. Les parois de son corps, les branchies, tout son organisme supporte ainsi une pression supérieure à cinq fois la pression de l'atmosphère, comme l'homme placé dans la cloche ; mais l'air dissous dans l'eau ambiante n'est point dissous en raison de cette pression, mais simplement en raison de la pression qui s'exerce à la surface de l'eau, seul niveau où l'atmosphère et l'eau se trouvent en contact immédiat; et le sang du poisson, malgré la pression générale, ne prend pas plus de gaz à la couche d eau située dans la profondeur qu'il n'en prend à la couche superficielle.

L'expérience de tous les jours faite par les pêcheurs le prouve, car un poisson tiré de 40 mètres de profondeur, ou de plus encore, ne périt jamais en offrant des bulles d'air dans ses vaisseaux Il ne périt pas du tout pour avoir subi cette ascension.

L'expérience citée page 84 est la preuve de cette explication. En effet, on voit que j'ai soumis des poissons non plus seulement à une pression de 5 atmosphères, (ils en supportent de pareilles et de plus fortes, sans rien éprouver de ce que l'homme éprouve), mais à une pression de 5 atmosphères dans une eau qui est en contact à sa surface avec un air comprimé également à 5 atmosphères; par suite l'air dissous dans l'eau prend une tension cinq fois plus forte que l'air des lacs et des mers prise à une profondeur quelconque. Le poisson ramené à la pression atmosphérique meurt en quelques minutes, offrant des bulles d'air dans le cœur, les vaisseaux, les nageoires. On voit donc qu'il y a, dans l'expérience que je donne, une assimilation à faire au point de vue physiologique entre l'homme placé dans une cloche, c'est-à-dire respirant un air comprimé, et le poisson placé artificiellement dans une eau où il trouve un air également comprimé.

Tous deux, ramenés à la pression atmosphérique normale,

subissent les mêmes phénomènes, courent les mêmes dangers, périssent avec les mêmes effets, parce que la circulation du sang est la condition essentielle à la vie de tous deux, et qu'elle ne peut s'effectuer quand des bulles d'air se forment dans les circonstances physiques communes qui leur sont imposées, savoir, une pression extérieure notablement plus faible que la pression sous laquelle les gaz ont été dissous dans leurs humeurs.

La physiologie générale est l'étude de ces phénomènes qui résultent des propriétés des tissus, des humeurs, de leur réaction vis-à-vis des agents extérieurs. Elle comprend aussi bien les phénomènes purement physiques et chimiques que l'on rencontre dans les êtres vivants que les phénomènes physiques et chimiques encore sous certains rapports, mais physiologiques en tant que spéciaux à la matière organisée.

L'exemple que je viens de citer est propre à montrer que la divergence dans les conditions de la vie du poisson et de l'homme est plus apparente que réelle. Il peut aussi servir à montrer ce que je cherche à rendre bien apparent dans ces considérations générales, savoir : que les études de physiologie comparée et de physiologie générale sont unies et se confondent en beaucoup de points. Nous allons en effet voir que le rôle de l'organe spécial de la vessie aérienne est élucidé par les mêmes expériences que nous venons de considérer dans des comparaisons avec la physiologie de l'homme.

Si je considère en effet le poisson qui possède une vessie aérienne, l'air intérieur se dilate en raison de la diminution de pression ; et si l'organe est bien extensible, il acquiert un volume de plus en plus considérable ; il comprime, il refoule les organes voisins, il fait saillir hors de la bouche l'estomac renversé ; il change de place le centre de gravité, il diminue considérablement la densité, et augmente d'autant la fatigue que le poisson éprouve dès qu'il veut descendre à un niveau plus bas où la pression lui rendrait son volume normal et sa densité normale, ou dès qu'il veut prendre une direction autre que la verticale ascendante. Toutes ces conséquences peuvent être fatales au poisson directement et plus souvent en le rendant la proie

des oiseaux de mer ou des poissons qui vivent près de la surface.

Les poissons qui possèdent une vessie aérienne courent, quand ils viennent d'être brusquement amenés à la surface, un danger spécial, exceptionnel, qui prouve que la présence de cet organe les cantonne dans une région déterminée. Dans cette région, qui est celle où le poisson a son volume normal, le poisson possède en même temps, grâce à sa vessie aérienne, la densité de l'eau, et se trouve supérieur aux autres poissons au point de vue des conditions d'équilibre.

Pour ce qui est des phénomènes que le poisson éprouve quand il devient victime de la dilatation de l'air de la vessie natatoire, ils sont donc tout différents de ceux que le même poisson éprouve quand il a été placé dans une eau dissolvant les gaz de l'air à une pression supérieure à celle de 4 atmosphères. C'est seulement dans cette dernière condition que le poisson est comparable à l'homme qui vit dans la cloche à plongeur, parce que c'est seulement dans cette condition que le sang se charge de gaz dans les mêmes proportions; et je le répète, c'est alors que l'on voit que l'homme et le poisson courent les mêmes dangers s'ils viennent à subir une même décompression. On voit, par cet exemple, que si la décompression est sans gravité pour le poisson, tandis qu'elle est très-grave pour l'homme, c'est que la condition dangereuse pour l'homme qui a vécu dans l'air à une pression de 5 à 6 atmosphères, est que le sang a été en rapport avec cet air fortement comprimé; tandis que pour le poisson, le sang n'a subi ce rapport qu'autant que l'on a artificiellement préparé l'eau pour que l'air dissous y soit dissous à ces fortes pressions, ce qui ne se rencontre pas dans les profondeurs des lacs et des mers, l'air n'ayant de contact avec l'eau qu'à la surface, c'est-à-dire à la pression ordinaire.

Il n'y avait donc, chez le poisson amené des grandes profondeurs et chez l'homme retiré de la pression de plusieurs atmosphères, il n'y avait de semblable qu'une condition physique, la pression intérieure, qui n'est pas immédiatement essentielle

à la vie. Mais ce qui est essentiel immédiatement à la vie des deux êtres, homme et poisson, c'est la circulation du sang. Or, elle n'est pas compromise pour le poisson qui s'élève rapidement de la profondeur de l'eau, parce que cette eau profonde ne contient l'air dissous qu'à une pression très-faible, savoir, la pression qui existe à la surface de l'eau, c'est-à-dire là où le contact a lieu entre l'air et l'eau. Réalisez, comme il est dit plus haut, pour le poisson, une eau contenant un air à une pression égale à celle que l'air subit dans la cloche à plongeur, le poisson est dans un milieu respirable où son sang se charge, comme celui de l'homme, d'un air qui, par la décompression, sera pour tous les deux une cause de mort.

§ 4.

Les phénomènes que l'on constate chez les êtres vivants doivent être, en tant que phénomènes physiques, rapportés à des conditions physiques qui se présentent d'ordinaire sous des aspects spéciaux tels que le monde inorganique n'en présente pas, tels aussi que nous n'en savons actuellement reproduire d'absolument semblables.

En face des phénomènes physiques offerts par les êtres vivants, l'esprit est naturellement porté à chercher leur explication en les rapportant à des conditions telles que celles que l'on rencontre en dehors de l'organisme, tandis que ce sont d'ordinaire des conditions physiques spéciales engendrées par l'organisme et différentes de celles que nous trouvons ou que nous savons réaliser dans le monde inorganique.

Je dois rappeler ici que M. Claude Bernard s'est plus d'une fois expliqué sur ce sujet : il a dit que les conditions des phénomènes étaient physico-chimiques, mais que les modalités de ces conditions étaient toutes particulières et propres essentiellement à la matière organisée.

Malgré l'intérêt que prend ce sujet quand il est traité par un homme d'une autorité aussi légitime, je ne rappellerai pas ici ce qu'enseigne ce maître excellent, mais je prendrai dans mes expériences un exemple qui montre la direction des recherches et la manière dont je pense qu'il faut considérer les problèmes physiologiques dans l'état actuel de la science.

C'est au commencement de ce siècle, comme on le voit dans les *Mémoires de la Société d'Arcueil*, que Biot, analysant l'air contenu dans la vessie natatoire des poissons qu'il faisait pêcher dans les eaux profondes de la Méditerranée auprès d'Iviça,

observa que la proportion d'oxygène était en rapport avec la profondeur à laquelle le poisson avait été pris.

Ce fait fut constaté par lui un grand nombre de fois et revu aussi par Delaroche à la même époque.

On peut voir dans un travail publié récemment dans les *Archives* de Pflüger, (F. Schultze *Archives de physiologie* de Pflüger, 1871, vol. V, p, 48), que la singularité de ce fait conduisit l'auteur de ce travail à le mettre en doute, en accusant d'inexactitude les procédés d'analyse employés à l'époque où Biot le découvrit.

Ce fait est cependant parfaitement exact, et j'ai montré qu'on pouvait le reproduire en variant les conditions de l'expérience de plusieurs manières qui dispensent le physiologiste de se transporter dans les endroits où la nature offre le phénomène toujours réalisé.

Biot, après avoir constaté ce fait un grand nombre de fois, chercha à l'expliquer. Il se demanda si dans la profondeur le poisson ne trouvait pas l'eau chargée d'une solution de gaz oxygène plus abondante qu'à la surface, et par suite si le sang, en présence d'une source de ce gaz plus abondante, ne se chargeait pas d'une plus grande quantité pour la fournir ensuite à la vessie natatoire.

On peut dire de la supposition de Biot qu'elle avait l'avantage de pouvoir être jugée expérimentalement. Ce sont là les hypothèses utiles, les seules précieuses. Biot fit faire un appareil spécial composé d'une sphère métallique bouchée avec une pièce mobile que l'on pouvait entr'ouvrir à l'aide d'une secousse communiquée par une corde. Il prit de l'eau dans la profondeur et analysa l'air contenu.

Le résultat de l'expérience fut négatif, l'eau contenait les mêmes gaz qu'à la surface et dans des proportions semblables. Je veux faire ici remarquer que le célèbre physicien a suivi dans ses recherches la marche la plus naturelle. Et si le résultat a été négatif, on ne pourrait cependant critiquer sa méthode.

Cette tentative d'explication répond à l'évolution normale de nos idées, et elle nous conduit, par le résultat négatif même

qu'elle nous fournit, à chercher dans une voie moins facile à suivre, c'est-à-dire dans les conditions spéciales de l'organisme, l'explication du phénomène.

Oui, la proportion d'oxygène va en croissant dans l'air de la vessie natatoire avec la profondeur à laquelle est prise le poisson.

Mais c'est dans l'organisme même qu'il faut chercher la raison physique de ce phénomène. Il faut d'abord montrer que la condition qui fait grandir cette proportion d'oxygène n'est pas, à proprement parler, la pression. C'est une condition qu'engendre la pression et que l'on peut réaliser sans elle.

Les expériences que je vais rappeler le prouvent.

J'ai soumis des poissons munis d'une vessie natatoire possédant un canal aérien à l'action de la machine pneumatique. Ils ont rejeté par le canal une grande partie de l'air qu'ils contenaient. Remis dans le bassin à la pression ordinaire, ils reformèrent l'air perdu en reformant une quantité d'oxygène pur équivalente à la quantité d'air évacuée.

Ces poissons ne communiquaient pas avec l'air atmosphérique, un diaphragme submergé les maintenait sous l'eau. On peut, comme je l'ai fait pour répondre à une objection, s'assurer que la densité de ces poissons est augmentée après l'action de la machine pneumatique, chose d'ailleurs assez évidente par elle-même.

Des perches, poissons à vessie close, que j'ai soumises à la ponction de la vessie natatoire, ont perdu ainsi une partie de l'air et l'ont renouvelée en lui substituant de l'oxygène pur par un travail qui s'accomplit beaucoup plus rapidement chez elles que chez les tanches et toujours dans des bassins peu profonds. Comme pour les premiers poissons la pression était très-voisine de la pression atmosphérique, et la densité de ces perches était également augmentée par suite de la ponction de la vessie aérienne.

Au lieu d'augmenter la densité des poissons en diminuant la quantité d'air qu'ils contiennent dans l'intérieur de leur vessie natatoire, j'ai cousu au ventre du poisson un lingot de métal.

J'avais eu le soin de déterminer à l'aide d'un appareil convenable le volume du poisson avant cette opération. Je replaçai ensuite dans un bassin presque à fleur d'eau ce poisson qui, par l'addition de ce lingot solidement et étroitement fixé à lui, faisait partie d'un ensemble dont la densité moyenne était notablement plus forte que la densité même du poisson, et par conséquent que celle de l'eau. Peu à peu et d'une manière très-appréciable, le volume du poisson s'accrut par l'augmentation de la quantité d'oxygène de la vessie aérienne.

J'ai répété cette expérience sur des tanches, elle m'a donné le même résultat. Le volume de la vessie natatoire, mesuré après l'expérience, augmente notablement. Le poisson, délivré du poids surajouté et fixé à sa paroi ventrale, est devenu plus volumineux et en même temps plus léger que l'eau. S'il se repose, c'est à la surface de l'eau, offrant une partie de son corps plongée dans l'air. (Je noterai en passant que la tanche, qui est un poisson muni d'un canal aérien, conserve cette pesanteur spécifique évidemment anormale et fâcheuse, sans faire usage du canal aérien qui pourrait lui servir à rejeter l'excès du gaz. J'ai observé le même fait dans plusieurs circonstances : il prouve non pas l'inutilité absolue de ce canal de décharge, mais une sorte de paresse ou de prudence de la part du poisson avant de rejeter un air dont la quantité est nuisible. Je dis prudence : en effet, comme je l'ai expliqué dans ce travail, le poisson utilisera l'excès du gaz qu'il possède en descendant à un niveau plus bas, et s'il perdait cet excès, il ne pourrait gagner la profondeur et s'y trouver en équilibre qu'après avoir formé une nouvelle quantité de gaz.)

Reprenons l'observation de Biot et rapprochons-la des expériences précédentes.

Il s'agit, dans le fait de Biot, de poissons soumis à de fortes pressions, et dans les faits que j'apporte, de poissons soumis simplement à la pression atmosphérique, à laquelle s'ajouta la pression de quelques centimètres d'eau, les bassins dans lesquels je place mes poissons n'ayant pas un mètre de profondeur.

Tous se comportent de même. Ils forment de l'oxygène. Il faut trouver une condition commune qui sera précisément celle qui est nécessaire pour la formation du gaz oxygène.

Pour cela, comparons deux poissons, dont l'un s'enfonce dans la profondeur de la mer, l'autre étant maintenu à son niveau habituel, mais après qu'on lui a soustrait une partie de l'air qu'il possédait. Le premier, à mesure qu'il descend, subit une pression plus forte qui diminue son volume et augmente sa densité; il doit, pour ne pas tomber avec une vitesse accélérée vers le fond, faire de continuels efforts jusqu'à ce qu'il ait augmenté la quantité du gaz intérieur dans la proportion convenable pour être en équilibre à cette pression nouvelle. Le second, vivant à son niveau habituel après qu'on lui a soustrait une partie de l'air qu'il possède, se trouve avoir une densité augmentée. Il est plus lourd que l'eau. Il doit rester au fond s'il est immobile, et s'il veut nager, il est condamné à des efforts extraordinaires jusqu'à ce qu'il ait reformé la quantité de gaz qui lui a été soustraite. Le gaz qu'il reforme est de l'oxygène, comme chez les autres.

Ce sont chez l'un et chez l'autre de ces poissons des efforts de même genre qui leur sont imposés par l'augmentation de leur densité.

Cette condition se trouve absolument la même chez le poisson auquel j'ai fixé un lingot de métal sous la paroi ventrale: il a subi par l'addition de ce lingot une augmentation dans sa densité, car ce lingot fait désormais corps avec lui; reposant sur le fond du bassin, le poisson est condamné à de continuels efforts d'ascension pour nager, jusqu'au moment où il aura, par une quantité de gaz nouvelle, assez augmenté son volume pour donner à son corps, et au lingot constituant toujours un seul et même appareil, une densité moyenne égale à la densité de l'eau.

En résumé, chez tous ces poissons la condition commune ne doit pas être cherchée dans le milieu extérieur, car il est le même pour tous : c'est l'excès de la densité du poisson sur la densité de l'eau qui est la cause prochaine de la formation de l'oxygène.

Cet excès de densité amène nécessairement des efforts de même nature chez tous les poissons cités plus haut. Tous ils éprouvent la sensation d'une chute imminente ou réelle. C'est là le commencement d'une évolution fonctionnelle, une sensation donnant lieu à une réaction physiologique dont le chemin par les nerfs est nettement accusé dans l'expérience rapportée (p. 77). On voit en effet dans cette expérience qu'une action mécanique portée sur les nerfs qui vont à la vessie natatoire en accompagnant les vaisseaux ou le canal aérien, donne lieu au même phénomène, la production d'oxygène. Ici, comme nous le trouvons dans toutes les fonctions physiologiques, le nerf est le chemin des influences qui agissent finalement sur des organes où les conditions physico-chimiques souvent inconnues réalisent les conditions immédiates du phénomène, et, une fois connues, achèvent d'en donner l'explication en constituant une chaîne non interrompue de causes et d'effets connus entre la première condition et le dernier effet. On voit que si la première idée d'explication du phénomène a été cherchée dans le milieu extérieur où vit le poisson, la seconde idée est celle de chercher dans le milieu intérieur les conditions physico-chimiques qui précèdent l'apparition de l'oxygène libre dans la vessie natatoire, et qui en sont, en d'autres termes, l'état antérieur ou les causes immédiates, évidemment d'ordre physique. J'ai montré qu'elles étaient sous l'influence du système nerveux. Achever de résoudre le problème, c'est montrer en quoi consiste l'intervention du système nerveux; il faut pouvoir le dire, comme on sait dire que l'élévation volontaire de l'avant-bras se fait quand les nerfs déterminent la contraction des muscles, biceps et brachial antérieur. Le phénomène pourra être considéré comme expliqué même sans que la question toujours présente, toujours obscure, de l'influence même du système nerveux sur le tissu dont il modifie l'état, soit éclaircie. Cette question pourra être réservée, comme elle l'est dans les problèmes de mécanique animale où les muscles sont mis en jeu par les nerfs.

Il est donc ici bien entendu qu'en disant, c'est par l'intermédiaire du système nerveux que l'oxygène libre s'amasse dans

la vessie natatoire, je veux dire que les conditions physico-chimiques qui précèdent la formation à l'état libre de ce gaz sont créées par le système nerveux, comme l'élévation de l'avant-bras, comme la contraction involontaire de l'estomac est déterminée par une influence nerveuse qui s'exerce sur des muscles spéciaux : l'action du nerf sur le muscle est obscure, mais elle est prouvée. Le raccourcissement du muscle est l'effet de cette action ; c'est le phénomène d'ordre physique qui précède et explique parfaitement le déplacement des os et tous les phénomènes consécutifs.

Supposer que l'action des nerfs donne lieu à la formation de l'oxygène sans laisser entendre que les intermédiaires physico-chimiques peuvent être déterminés, c'est accepter une solution qui n'a pas de sens pour l'esprit et qui est en opposition avec toute l'évolution scientifique moderne.

La question est donc aujourd'hui ramenée à la détermination des conditions engendrées par l'intervention des nerfs, à l'occasion d'une densité supérieure à celle de l'eau, condition reconnue nécessaire et suffisante pour que le poisson forme de l'oxygène.

§ 5.

L'expérimentation, malgré ses lenteurs, est le moyen le plus rapide, en même temps que le plus sûr, pour nous éclairer.

Si je mets sous les yeux du lecteur les raisonnements, les opinions qui ont été publiés sur une question par des auteurs dont quelques-uns ont acquis une grande réputation, on verra combien il était difficile de prendre parti ; on reconnaîtra surtout, après la solution expérimentale de la question discutée, que rien ne pouvait dispenser des faits ultérieurement établis, et qu'ainsi, à défaut d'observations, il fallait des expériences.

L'accord des auteurs est en effet remarquable : pour eux; la vessie natatoire est un organe de locomotion ; les faits connus ne contredisaient pas cette opinion ; il a fallu des faits nouveaux pour montrer qu'elle n'était que vraisemblable et qu'elle doit être rejetée. Ces faits fixent les idées, ne permettent pas de s'égarer au milieu de suppositions sans fondements et décident ce qui sans eux était discutable. Je vais les rappeler en quelques mots.

Je prie le lecteur de se reporter à l'expérience de la page 20 et à la figure 4.

Si, en parlant de cette expérience, on se borne à dire que le poisson qui monte augmente de volume, et que le poisson qui descend diminue de volume, on peut conserver l'idée que le poisson tire de sa vessie natatoire un bénéfice pour l'ascension, puisqu'il devient plus léger quand il monte, et un bénéfice pour la descente, puisqu'il devient plus lourd quand il descend. Mais ce serait mal décrire ce qui s'observe, ce serait en donner une idée fausse. Il faut dire : la variation de volume est proportionnelle à l'espace parcouru verticalement, soit en mon-

tant, soit en descendant, elle est en rapport avec la pression extérieure; et le poisson que l'on suppose en équilibre au départ devient de plus en plus différent de ce qu'il était, la poussée verticale qu'il subit va toujours croissant. Quand le poisson s'arrête dans cette ascension ou cette descente, l'expérience montre qu'il conserve le volume acquis; la variation qu'il a subie lui est donc plus fâcheuse qu'utile. Cette variation, petite au début, devenant maximum à la fin de sa course verticale, c'est la preuve manifeste que les muscles n'interviennent pas utilement, car leurs efforts devraient tendre à rendre la variation maximum au début, et minimum, c'est-à-dire nulle, à la fin de la course; de cette façon le poisson bénéficierait dès le début de sa course de la poussée résultant du changement de volume dû à ses efforts musculaires, et, arrivé au terme de sa course verticale, il reprendrait le volume normal et la densité normale, c'est-à-dire les conditions d'équilibre. Remarquons ici qu'il ne reprendrait ce volume normal que par des efforts de sens opposé à ceux qu'il faisait au début de sa course, parce que la distance verticale parcourue crée pour lui une variation de pression dont l'effet est à corriger.

Je le répète, l'expérience II montre de la manière la plus nette, et on peut le dire contre toutes les prévisions, que la vessie natatoire est plus nuisible qu'utile au poisson qui monte ou descend. Le poisson ne corrige pas par ses efforts musculaires le volume que lui impose la pression nouvelle, la pression du niveau où il s'est porté à l'aide de ses nageoires.

L'expérience que j'ai rappelée me permet d'apprécier les travaux publiés sur ce sujet et les jugements dont ils ont été l'objet.

Je ne prendrai que le travail de Delaroche, et je le choisis parce qu'il est juste de déclarer que la question par lui posée est digne d'un physicien. Le travail intitulé : *Observations sur la vessie aérienne des poissons*, par F. Delaroche, docteur-médecin, publié dans les *Annales du Muséum*, 1809, rapporte à la page 258 l'opinion de Borelli, qui admet que sans le secours des nageoires, le poisson peut s'élever ou s'abaisser à l'aide de cet

organe plein d'un fluide éminemment élastique dont le volume diminue par l'effet d'une simple pression due à l'action des muscles. Delaroche cite les considérations alléguées par Fischer, professeur à l'université de Moscou, dans un travail publié à Leipzig en 1795, savoir : « Que les variations de pesanteur spéci-» fique nécessairement très-faibles ne pourraient produire que » des mouvements extrêmement lents, tandis que les poissons en » exécutent de très-rapides aussi bien en s'élevant ou en s'abais-» sant qu'en s'avançant horizontalement. Delaroche (page 262) » dit : Les muscles propres qui sont fixés aux parois de la vessie » natatoire dans un grand nombre d'espèces ont probablement » pour usage de comprimer plus ou moins fortement le gaz » qu'elle renferme, non comme le supposent ceux qui ont » adopté l'hypothèse de Borelli, pour changer la pesanteur » spécifique du poisson, mais au contraire pour la maintenir » toujours au même point. Les poissons ne peuvent s'élever ou » s'abaisser sans que la pression exercée sur eux par le poids de » l'eau qui les recouvre, diminue ou augmente, et par » conséquent sans que le gaz renfermé dans leur vessie tende » à se dilater ou à se condenser. Il faut donc, pour que leur » pesanteur spécifique ne varie pas, qu'il y ait une cause tou-» jours agissante qui empêche cette condensation et cette dila-» tation. Telle paraît être la fonction des muscles propres de la » vessie. Ailleurs, à la page 261, M. Delaroche dit :

« La vessie n'a pas d'autre usage bien constaté que celui de » mettre la pesanteur des poissons en équilibre avec celle du » milieu ambiant. »

Je vais mettre en regard de ces passages ceux du Rapport fait par Cuvier à l'Académie des sciences, au nom d'une commission composée de Lacépède, Vauquelin, Cuvier (*Annales du Muséum*, 1809, p. 180) :

« M. Delaroche reconnaît d'abord son usage dans la station, » et convient qu'elle sert à rendre le poisson total spécifi-» quement plus léger, et à le mettre en équilibre dans l'eau » dans laquelle il est suspendu. C'est là une partie de l'opinion » la plus répandue ; mais il est clair que la nécessité de la

» vessie, pour ce seul usage, n'est rien moins que démontrée. La » nature aurait pu tout aussi bien faire tous les poissons de la » même pesanteur que l'eau, comme elle a fait de cette pesan- » teur ou à peu près les poissons sans vessie : aussi l'opinion » commune se compose-t-elle encore de deux autres parties » intégrantes et aussi nécessaires que la première : l'une est que » le poisson peut comprimer à son gré, jusqu'à un certain point, » sa vessie ou la laisser se dilater, ce que l'on prouve par les » muscles propres dont la vessie est pourvue dans certains » poissons, et par l'action médiate que les côtes et les muscles » de l'abdomen exercent sur elle dans tous ceux qui l'ont.

» M. Delaroche adopte aussi cette seconde partie de l'opi- » nion commune. Il pense même que c'est de cette manière » que le poisson supplée, lorsqu'il s'élève, à la pression qu'exer- » çait sur sa vessie, dans la profondeur, la colonne d'eau qui » pesait sur elle. Autrement l'air, qui ne serait plus comprimé, » se dilaterait trop et rendrait le poisson trop léger, ou même » produirait quelque rupture, ainsi qu'il arrive aux poissons » que l'on tire trop vite de très-bas, comme M. Biot l'a observé.

» Mais, qui ne voit pas que ce serait, de la part de la nature, » corriger assez maladroitement un défaut qu'elle pouvait se » passer d'introduire dans son ouvrage. Elle n'avait qu'à ne pas » donner de vessie du tout aux poissons, et nous venons de voir » qu'elle n'en avait pas besoin pour les mettre en équilibre avec » l'eau ; alors elle n'aurait pas eu besoin non plus de cet appa- » reil de compression que l'on ne veut faire servir qu'à corriger » les inconvénients d'une vessie inutile.

» Aussi croyons-nous qu'il n'y a que la troisième et la prin- » cipale partie de l'opinion commune qui résolve réellement le » problème ; c'est celle qui dit que la vessie est là pour aider le » poisson à s'abaisser et à s'élever selon qu'elle est comprimée » ou dilatée, et nous avouons que nous ne voyons pas pourquoi » M. Delaroche rejette cet emploi dont les deux autres ne sont, » selon nous, que des accessoires. »

Il est bon de faire remarquer ici que si Delaroche a supposé que le poisson corrigeait par des efforts musculaires conve-

nables et appropriés l'effet de la pression changeant à chaque instant pendant une course verticale, il ne lui a manqué que de faire l'expérience décrite (exp. 11), pour voir qu'il n'en est rien. Son hypothèse avait deux mérites : celui d'être vraisemblable et celui de pouvoir être contrôlée par une expérience.

Si j'ajoute aux passages extraits de Delaroche et du rapport de Cuvier le passage, cité page 57, d'un travail récent de M. Gourriet sur la vessie natatoire, et enfin tous ceux que l'on trouve dans les différents auteurs, je pense que l'on partagera le sentiment que j'exprimais en commençant ce chapitre, savoir, que l'expérimentation, malgré ses lenteurs, est le procédé le plus rapide, en même temps que le plus sûr, pour nous éclairer, parce qu'elle nous révèle des faits qui eussent fait changer d'opinion aux plus dévoués partisans des théories anciennes.

Elle dit ce qui est, et rend l'immense service de supprimer ces impedimenta de la science, je veux parler des solutions vraisemblables, des solutions consacrées, non par des preuves tirées de l'ordre, mais par l'adhésion de personnes d'ailleurs et justement illustres. Enfin elle est impersonnelle et nous permet de décider contre l'opinion des hommes qui tiennent le rang le plus élevé dans la science. Il faut expérimenter pour répondre aux raisonnements accumulés et stériles que les auteurs s'opposent réciproquement, car l'incertitude qui plane sur les questions controversées dépend précisément de l'absence de faits que l'observation ou, à son défaut, l'expérience peuvent faire apparaître.

L'expérience 2 que j'ai citée, et qui est si facile à comprendre à l'aide de la figure correspondante, montre que le poisson prend dans ses déplacements rapides un volume qui est exactement en rapport avec la pression nouvelle qu'il subit, et, par suite, qu'il est passif quant à la vessie natatoire, et gêné par elle dans les déplacements comptés sur une verticale, puisqu'il conserve, quand il s'arrête à l'aide de ses nageoires, la plus grande variation de volume éprouvée depuis son départ, c'est-à-dire depuis le moment où il était en équilibre.

Cette expérience suffit à elle seule pour montrer que le rôle actif de la vessie natatoire dans la locomotion pour l'ascension ou la descente est un rôle imaginaire. Il convenait de faire d'autres recherches pour préciser le rôle qu'elle joue dans la station. L'expérience 6 répond à ces desiderata en montrant que dans un temps plus ou moins long, la quantité d'air contenu dans l'organe s'augmente ou diminue dans le rapport qui convient précisément à l'équilibre du poisson pour la pression nouvelle qu'il éprouve dans le plan horizontal où il est considéré.

§ 6.

L'expérimentation peut révéler des notions anatomique absolument ignorées.

Le récit que j'ai fait (page 25) de la manière dont s'est offert à moi le canal particulier que j'ai appelé canal de sûreté chez le poisson dit Sinchard (*Caranx trachurus*), et en outre les difficultés que l'on éprouve à voir ce canal, même quand on est prévenu qu'il existe et que sa situation est décrite rigoureusement, expliquent comment il a échappé aux yeux des anatomistes, et permettent de penser qu'il pouvait rester encore bien longtemps ignoré. Ce canal, en effet, est situé profondément entre la colonne vertébrale et la vessie natatoire. Il a des parois d'une minceur extrême, qui sont en contact avec elles-mêmes; en sorte que sa forme et sa présence ne sont accusées que dans l'état de fonctionnement, quand l'air, trouvant au dehors une pression moindre qu'à l'intérieur de la vessie natatoire, s'échappe et dessine un cylindre là où les parois semblaient par leur minceur se confondre avec le tissu cellulaire ambiant. Ce cylindre est réellement impossible à voir, puisqu'il n'est constitué qu'autant qu'il y a distension, et qu'en outre sa situation entre la vessie et la colonne vertébrale le met tout à fait hors de la vue. Sur le poisson mort, rien n'accuse l'orifice extérieur de ce canal. Les inégalités de la membrane muqueuse qui recouvrent les branchies sont plus que suffisantes pour dissimuler une fente imperceptible qui ne s'entr'ouvre qu'autant qu'une bulle d'air vient à sortir, et qui n'est visible que sous l'eau, quand la bulle semble hésiter un instant et paraît comme une perle arrêtée en ce point. Or, il ne sort de bulle qu'autant que l'air de la vessie a une tension suffisante, supérieure à la

pression de l'extérieur. L'orifice intérieur est placé au centre de la paroi supérieure ; il est arrondi et très-peu saillant. Rien n'indique à l'œil qu'il est le commencement d'un canal se portant en avant et sur le côté droit. Et quand on regarde cette paroi supérieure, on voit toujours, et symétriquement placés par rapport à ce cercle, des replis de la membrane interne en forme de croissant qui sont comme la trace de cercles plus anciens séparés en deux moitiés qui se seraient écartées par suite du développement. Il n'est pas rare de trouver dans les vessies natatoires de pareils replis, de même que l'on trouve des diaphragmes incomplets. Aussi la connaissance du canal de sûreté est nécessaire pour en faire constater la présence, et cette connaissance s'est révélée par une expérience à laquelle furent soumis des *Caranx trachurus* par hasard mêlés à des espèces ayant la structure ordinaire.

Si l'on se reporte au récit que j'ai donné de ces expériences, on voit que ce poisson, se comportant d'une manière différente de tous les autres poissons, attirait ainsi l'attention. On voit que les bulles d'air qu'il laissait échapper ne sortaient point à la manière des bulles d'air que rejettent les poissons munis d'un canal aérien, et qu'elles accusaient un orifice placé en dehors de la ligne médiane, et qui en outre, ne se trouvant pas sur les deux côtés du corps, offrait une asymétrie inattendue. Le point précis d'où s'échappaient ces petites bulles était difficile à voir sur des poissons toujours en mouvement, mais très-facile sur des poissons morts placés sous l'eau et décomprimés à l'aide de la machine pneumatique.

Je ne m'arrête pas sur les difficultés tenant à l'obliquité du canal dans sa partie externe, à sa longueur et à sa situation profonde, parce que, en anatomie, de pareilles difficultés se rencontrent dans beaucoup de recherches.

Le dégagement des bulles d'air révèle ce canal, et ce dégagement ne peut se voir qu'autant que l'on place le poisson dans la condition même où il remplit un rôle physiologique, condition consistant dans une prédominance de la tension de l'air de la vessie natatoire sur la pression de l'eau ambiante.

La connaissance, ou au moins la recherche expérimentale du rôle hydrostatique de la vessie natatoire était donc nécessaire pour trouver ce canal si bien dissimulé?

Le poisson sur lequel je l'ai rencontré en expérimentant sur un grand nombre d'espèces différentes, est un des poissons les plus connus et les plus abondants de nos côtes.

§ 7.

Les nerfs ont-ils une seule et même propriété, et la différence dans les effets qu'ils produisent est-elle due tout entière à la différence des organes qu'ils animent?

Cette question est résolue. Depuis Haller, aucun physiologiste n'a admis que la diversité des actions, la spécificité des organes dépendait de la nature diverse de l'influence nerveuse. Cependant il n'est peut-être pas inopportun de rappeler cette opinion à propos de questions obscures dans lesquelles les nerfs jouent un rôle important.

La notion scientifique des propriétés des nerfs ne peut évidemment sortir que de l'observation et de l'étude des nerfs dans les organes les plus divers.

Nous ne pouvons en effet juger de la propriété d'un tissu qu'en constatant l'existence de cette propriété, mais non point en la déduisant de la structure anatomique. Si nous trouvons, par exemple, des fibres striées dans un organe, nous admettons que l'élément est contractile, parce que la fibre musculaire est souvent striée; mais elle peut être contractile sans être striée, et d'autres tissus très-nombreux, celui des amibes, celui des leucocytes, sont contractiles sans ressembler à la fibre musculaire par leurs caractères anatomiques. Nous savons qu'un nerf rachidien qui, sur son trajet, en sortant de la moelle, offre un renflement ganglionnaire, est un nerf de sentiment, et nous pensons que tout nerf partant des centres nerveux et qui offre un ganglion semblable est aussi un nerf de sentiment.

C'est par analogie que nous jugeons ainsi, et cette analogie repose sur une expérience faite sur le nerf ganglionnaire. Nous ne devons pas oublier qu'avant les expériences de Magendie

et des autres physiologistes de son temps, les deux racines des nerfs rachidiens, bien distinctes, anatomiquement, l'une de l'autre par la présence ou l'absence du ganglion, n'étaient nullement distinguées l'une de l'autre au point de vue physiologique. Et si l'on se reporte aux longues discussions que souleva la question de la sensibilité récurrente, on verra que le fait découvert par Magendie, puis perdu, retrouvé, enfin définitivement acquis par les expériences de M. Cl. Bernard qui en précisa les conditions physiologiques, fit reconnaître dans la racine antérieure une qualité particulière que la structure anatomique ne révélait à personne.

Les recherches anatomiques, qui se perfectionnent tous les jours, nous laissent, relativement aux propriétés, dans une complète incertitude, quand l'expérimentation ne vient pas prononcer. Dans l'état actuel de la science et malgré l'obscurité qui règne sur plusieurs points, on est porté à considérer le nerf comme un excitateur dont la propriété est la même pour tous, sauf qu'elle se transmet suivant un sens dans les nerfs centrifuges ou de mouvement, et en sens inverse dans les nerfs de sentiment ou centripètes.

Il importe de s'arrêter sur cette question, car le présent recueil est relatif à des expériences faites sur des organes très-divers, et tout en nous réservant d'accepter sur les points non élucidés encore ce que l'expérience décidera, nous pouvons dire comment on peut provisoirement considérer le rôle des nerfs.

L'expérience dans laquelle M. Cl. Bernard, à l'aide du curare, a montré nettement que l'activité de la fibre musculaire était indépendante de l'activité du nerf, a fourni une notion qui a été étendue à toutes les actions nerveuses. On peut penser que le nerf qui apporte au tissu musculaire l'excitation qui met en jeu son activité, porte la même influence commune à chaque tissu, le nerf centripète portant aux éléments des centres nerveux une excitation qui met en jeu leur activité.

Pareillement, les nerfs centrifuges qui vont aux glandes, aux vaisseaux, aux différents tissus, éveillent dans chacun l'activité qui est la cause prochaine des phénomènes les plus divers.

La diversité, la spécificité des fonctions est donc en dehors du nerf; le nerf ne donne, pour ainsi dire, à chacun des organes que le signal d'entrer en action.

Le nerf produit sur la fibre musculaire une modification qui la fait contracter; c'est là un phénomène facile à constater et que personne ne met en doute. Cette influence, d'ailleurs assez difficile à comprendre, même en admettant, ce qui est aujourd'hui nié pour de bonnes raisons, que le nerf est un conducteur d'électricité, est-elle semblable dans les autres tissus, c'est-à-dire le nerf agit-il de même sur les fibres musculaires plus ou moins modifiées, sur des éléments anatomiques contractiles, et peut-on ramener, en physiologie générale, à un seul et même mode d'action les effets d'ailleurs infiniment variés de l'influence nerveuse? Cette solution hypothétique peut être proposée comme n'étant pas contredite par les faits actuellement connus, et comme offrant un caractère de simplicité qui plaît à l'esprit. Quoi qu'il en soit de ce que l'avenir nous apprendra sur ce point, il est bon de remarquer que les effets les plus variés peuvent survenir à l'occasion d'une même influence, quand celle-ci s'exerce sur des organes différents. Prenons une comparaison: Plusieurs plaines desséchées offrent un aspect uniforme, les terrains sont semés de graines différentes. Un système de canaux semblable alimenté par une source unique aboutit à chacune de ces plaines. Le jour où ce système fonctionnera, portant la même eau partout, commencera dans chacune des plaines desséchées un travail de germination qui bientôt donnera à chacune un aspect particulier; on verra, suivant la nature du terrain et des graines, la même eau, versée en même quantité, changer du tout au tout l'aspect jusque-là uniforme de ces plaines.

Pareillement les organes au repos, les glandes par exemple, peuvent offrir même à l'œil exercé et pénétrant de l'anatomiste la même structure; vienne une influence nerveuse qui fera circuler le sang en plus grande abondance et s'exercera sur le tissu propre de l'organe, et chaque glande fournira un suc absolument différent, par ses propriétés essentielles, du suc de la

glande voisine. L'influx nerveux, quel qu'il soit, a été le même, comme l'eau versée sur les plaines, mais les tissus n'étaient semblables que vus superficiellement. Les différences dans les qualités des liquides produits ont indiqué les différences cachées de leur nature.

Précisons davantage. L'expérience classique due à M. Claude Bernard, et qui consiste dans la section du filet cervical sympathique, donne lieu à une dilatation des vaisseaux sanguins et en outre à une élévation de température. Dès ses premières expériences, M. Cl. Bernard insista sur ce dernier phénomène, et donna le nom de calorifiques à ces nerfs, voulant montrer le rôle qu'ils jouent dans la production de la chaleur animale. Beaucoup de physiologistes, considérant que l'élargissement des vaisseaux, qui est un phénomène facile à constater après la section du nerf, permet au sang artériel de venir en plus grande abondance, pensèrent que l'élévation de température de la région était la suite naturelle et l'effet de cette surabondance d'un sang artériel plus chaud que le sang veineux de la région, et qui en outre, par son abondance, fournit les matériaux utiles à un plus grand développement de chaleur.

Pour ces physiologistes, la chaleur est donc consécutive à la dilatation, et le nerf n'agit que sur la fibre musculaire.

M. Cl. Bernard ne pense pas ainsi : il pense que les nerfs agissent sur des éléments anatomiques autres que les fibres musculaires des vaisseaux, et que sous l'influence nerveuse, ces éléments donnent de la chaleur. Je n'ai pas à reproduire ici les arguments à l'appui de cette thèse ; mais je dirai qu'ici encore on pourrait considérer les éléments contractiles des cellules comme subissant dans ces conditions le même influx nerveux qui agit sur les fibres musculaires, et qui favorise ici des échanges de liquides qui, dans leurs contacts nouveaux, peuvent engendrer de la chaleur.

L'action nerveuse n'est point, pour M. Cl. Bernard, limitée à la gaîne des vaisseaux, dans cette expérience, et cependant elle peut encore être conçue comme une action sur des éléments contractiles, comme une action de même ordre que celle qui

s'exerce sur la fibre musculaire. Nous sommes ainsi conduits à rapporter des effets très-variés à une même influence nerveuse. Je prends un autre exemple dans l'action des nerfs sur les glandes, et je cite la glande sous-maxillaire : l'influence des nerfs sur les vaisseaux est ici plus facile à constater que partout ailleurs. L'exaltation, le ralentissement de la circulation locale, ont été étudiés, observés par M. Cl. Bernard, et peuvent être rapportés à une influence nerveuse sur la fibre musculaire des vaisseaux. M. Ludwig, dans une expérience déjà ancienne et justement célèbre, a fait voir que la pression de la salive qui sort de l'organe est supérieure à la pression du sang qui circule dans les artères de la glande. On peut, pour expliquer ce phénomène, invoquer des actions moléculaires se passant dans l'intimité du tissu glandulaire et produisant la pression observée ; on peut aussi supposer que les nerfs ont une action sur des éléments contractiles propres aux cellules de la glande, et la pression engendrée serait encore là due à la même cause, à l'influence nerveuse s'exerçant sur un élément contractile.

En étudiant l'action du curare sur la torpille électrique, j'ai voulu voir si je pourrais mettre en jeu l'activité de l'organe électrique sans exciter le nerf qui s'y porte, comme on fait contracter le muscle après avoir détruit le nerf par le curare.

Je supposais que le nerf serait tué par le curare injecté dans les veines de la torpille.

Mais il est arrivé ici ce qui arrive souvent dans les expériences, le résultat n'a pas répondu à la supposition. La torpille curarisée a eu les nerfs moteurs paralysés, elle est devenue immobile ; elle conservait encore sa sensibilité comme les grenouilles curarisées, mais les nerfs électriques conservaient toute leur vitalité. Je vis donc cet animal, subissant des pincements ou des excitations portées sur la peau, réagir en donnant des décharges électriques, tout en restant absolument immobile : ce résultat était inattendu.

La question reste entière, je la reprendrai, et je ne veux que montrer comment elle se présente. Il se peut que l'organe électrique puisse, comme le tissu musculaire, entrer en fonction sans

l'intermédiaire du nerf, et que le nerf centrifuge agisse sur des éléments moteurs dont il détermine la contraction, et par suite de cette contraction donne lieu à des effets variés, causes prochaines de la formation de l'électricité. Je le répète, si le curare employé avec les doses que j'ai mises en usage n'a point anéanti les propriétés du nerf électrique, on peut cependant supposer qu'un autre agent ou lui-même à d'autres doses pourra produire cet effet, c'est-à-dire détruira l'activité du nerf, sans détruire l'activité du tissu de l'organe électrique. Cette dernière supposition est, comme on le voit dans ce travail, implicitement rejetée par quelques auteurs; mais, comme je l'ai dit à propos des raisonnements qu'opposait Cuvier à Delaroche sur le rôle de la vessie natatoire, les expériences seules décident ces questions (p. 199) et les prévisions de l'esprit, dans des sujets aussi obscurs, ne doivent être estimées qu'autant qu'elles conduisent à instituer des expériences réalisables et dont on attendra le résultat (1).

Si je considère l'action des nerfs dans la formation et l'absorption de l'oxygène de la vessie natatoire, je me trouve en face de difficultés non moins grandes. Sans doute, les expériences que j'ai données montrent que la sensation d'une poussée verticale de haut en bas donne lieu à un travail que règlent les nerfs, et qui se traduit par une formation d'oxygène libre, tandis que la sensation d'une poussée verticale de bas en haut donne lieu au travail d'absorption, qui est également sous l'influence nerveuse.

On ne peut en effet voir, pour deux poissons dans le même bassin, dont l'un porte un poids plus lourd que l'eau, tandis

(1) Le passage suivant du dernier numéro des *Archiv für Anatomie und Physiologie* von Dr His, Dr Braume und Dr du Bois-Reymond, 1877 : *Beobachtungen und Versuche am sudamerikanischen Zitteraale (Gymnotus electricus)* von Dr Carl Sachs, vient précisément à l'appui de l'opinion que je rappelle et montre l'activité de l'organe électrique indépendante du nerf moteur (p. 81, action du curare)... Les nerfs électriques ont été avec le temps tout à fait paralysés; l'organe électrique, directement excité avec le courant d'induction ou l'ammoniaque, a produit des effets aussi puissants que l'orgaue de l'animal non empoisonnée..

Je regrette que ces expériences intéressantes ne soient pas accompagnées de détails circonstanciés.

que l'autre est suspendu à un ballon plus léger que l'eau, de différence, sinon celle d'une sensation de poussée verticale, qui pour l'un est dans un sens et pour l'autre dans l'autre sens.

Enfin, l'expérience de la section des nerfs qui accompagnent l'artère cœliaco-mésentérique montre que l'augmentation de l'oxygène a lieu sous cette influence, et conduit à admettre que l'action nerveuse dont le point de départ est la sensation d'une densité trop forte se réfléchit par ces mêmes nerfs satellites de l'artère cœliaco-mésentérique, et donne lieu à une modification de même nature que celle qui résulte de leur section.

Je ne fais, en citant ces expériences que rappeler les preuves de l'intervention nerveuse dans les fonctions de la vessie natatoire. J'ai donné une expérience, dans laquelle la galvanisation du nerf spécial qui se porte à la vessie natatoire du *Trigla Hirundo* donne lieu au grondement, c'est-à-dire au phénomène de phonation qui appartient à plusieurs espèces de ce genre; et j'ai constaté les mouvements vibratoires du diaphragme que possède cette vessie aérienne particulière.

Dans cet exemple, le nerf agit sur les fibres de muscles remarquables par leur développement. Il n'y a pas ici de question nouvelle.

Mais si nous cherchons à comprendre quelle est la modification qui se produit sous l'influence nerveuse, quand l'organe devient le siége de l'absorption de l'oxygène, nous nous trouvons en face de difficultés qu'il est bon de noter, pour ne pas vivre d'illusion, et pour reconnaître que tel phénomène, très-fréquent dans l'organisme non pas seulement chez le poisson, mais chez tous les animaux, peut être sous l'influence du système nerveux sans que nous sachions au juste ce qui a été modifié dans les organes que les nerfs animent. C'est ce qui arrive, pour la vessie natatoire, lors de l'absorption de l'oxygène: une sensation, une poussée verticale de bas en haut donne lieu à cette absorption. Faut-il admettre qu'il y a une accélération de la circulation? Mais c'est une hypothèse qu'il faut prouver, d'autant plus qu'elle sera faite également dans le cas de la fonction opposée, c'est-à-dire de la formation d'oxygène, sous l'influence d'une

sensation de chute. Ainsi l'influence nerveuse, produisant ici deux effets opposés, s'exercerait sur deux systèmes différents d'organes. Il y aurait nécessairement avec l'augmentation de circulation que nous supposons se produire dans les deux cas, il y aurait des effets différents servant d'intermédiaires et donnant lieu à l'absorption dans un cas, à la formation d'oxygène dans l'autre cas.

L'absorption qui se fait à la surface interne de la vessie natatoire est un phénomène digne d'intérêt, si l'on réfléchit que le poisson qui descend forme des quantités toujours nouvelles de gaz oxygène, et que l'air intérieur se met en équilibre avec la pression extérieure. Il y a donc sur cette surface une pression qui va croissant avec la profondeur et qui peut répondre à un nombre considérable d'atmosphères. Dans d'autres circonstances la pression supportée par la tunique interne de la vessie natatoire ne dépasse pas une atmosphère : c'est le cas du poisson nageant à la surface de l'eau. Or, ces variations extrêmes de pression sont sans influence ; ce qui intervient pour déterminer l'absorption, c'est le nerf. Et l'expérimentateur, en agissant sur le système nerveux, peut à volonté la faire paraître ou l'arrêter. Je l'ai dit : un ballon qui soulève le poisson fait que l'absorption a lieu ; un poids plus lourd que l'eau qui l'attire en bas supprime cette absorption et fait que le gaz oxygène s'amasse dans l'organe. C'est donc bien une sensation, et par suite une influence nerveuse réfléchie ou réflexe, qui intervient dans l'absorption. L'absorption suppose un état particulier du tissu en présence du gaz à absorber. Quel est cet état? En quoi les tissus ont-ils été modifiés? Ce n'est pas le moment de le chercher, je ne veux que faire remarquer ceci : le nerf agit dans une condition que nous sommes maîtres de faire naître; il agit, et l'absorption a lieu.

Si nous passons à l'autre fonction de la vessie natatoire qui est aussi sous l'influence nerveuse, l'obscurité n'est pas moindre. Elle paraît même beaucoup plus grande, en ce sens que l'absorption ne suppose que le contact même médiat du sang avec l'oxygène de l'air intérieur. Et cette condition peut être réalisée

par une circulation localement exagérée. Mais la production d'oxygène libre ne pourrait pas s'expliquer aussi simplement.

Même après avoir été signalé dans la vessie natatoire, le phénomène de la production d'oxygène a été plus d'une fois mis en doute à cause même de son étrangeté.

On sait que chez les végétaux le gaz oxygène est exhalé dans des conditions assez précisées déjà. La chlorophylle et la lumière solaire jouent un rôle dans ce dégagement d'oxygène, qui a beaucoup attiré l'attention et qui est un sujet d'études actuelles pour les physiologistes.

Chez le poisson, les conditions sont tout à fait différentes. Point de chlorophylle; peu ou même point de lumière solaire.

Dans les pressions plus fortes que celles que subit le poisson à la surface de l'eau, l'air intérieur, l'air contenu dans la vessie natatoire est à une pression qui l'emporte sur la pression atmosphérique que l'air subit à la surface de l'eau et sous l'influence de laquelle il se dissout dans l'eau. Il en résulte que l'eau où vit le poisson, quelle que soit la profondeur où il se trouve, ne contient d'air qu'autant qu'une pression atmosphérique lui en fait dissoudre, et le sang qui emprunte les gaz dissous dans l'eau les emprunte en raison de la tension qu'ils y possèdent et qui correspond à leur solubilité pour une pression atmosphérique. Or, les gaz de la vessie natatoire sont à une pression parfois bien supérieure. En présence du sang, ces gaz devraient être absorbés en raison de cette pression. Mais si délicate que soit la tunique qui sépare les vaisseaux de la cavité même de l'organe, elle est avec la membrane interne une barrière suffisante quand l'action nerveuse a lieu, et non-seulement l'absorption ne se fait pas, mais ce sang, qui est si loin d'être saturé de gaz tels que ceux qui forment l'air intérieur, fournit cependant immédiatement ou médiatement les éléments pour l'accroissement de la quantité d'air que la vessie contient, du moment que le poisson descend et que le système nerveux influencé intervient dans la condition d'une densité augmentée.

Après avoir insisté, comme je viens de le faire, sur l'action nerveuse qui intervient dans ces deux phénomènes d'absorption

et de formation d'oxygène dans la vessie natatoire, action nerveuse que prouvent les expériences contenues dans ce recueil, j'ajoute : cette action nerveuse est obscure comme celle qui s'exerce dans les autres fonctions. On peut supposer qu'elle est toujours la même, rien n'autorise à penser que le nerf agit de différentes manières dans les diverses fonctions. Et la diversité des effets, par exemple l'absorption ou la formation d'un gaz, peut résulter de deux actions nerveuses identiques s'exerçant sur des organes différents. Pareillement on peut supposer par analogie que les nerfs, en agissant sur des tissus contractiles, déterminent des changements qui amènent les conditions physiques de la décharge électrique.

Ainsi donc, tout en me réservant d'accepter les révélations des expériences, l'étude de fonctions spéciales telles que la production de l'électricité ou la formation de l'oxygène libre dans l'organisme animal ne fournit aucun argument pour admettre dans les nerfs une influence qui diffère de celle qui se produit sur le muscle. Il convient d'établir d'une manière nette et en quelque point que ce soit, qu'une action nerveuse se produit sans donner lieu à une contraction augmentée ou diminuée pour pouvoir affirmer que tel n'est point partout l'effet immédiat de l'influx nerveux. Jusque-là l'analogie conduit à supposer que l'action nerveuse est toujours la même.

En résumé, je suis porté à considérer l'électricité de torpille comme devant provenir de conditions physico-chimiques réalisées dans les tissus à l'occasion de l'excitation nerveuse. On doit de même penser que c'est dans les conditions physico-chimiques spéciales qui se rencontrent dans la vessie natatoire à l'occasion d'une action nerveuse que se produit l'oxygène. Ce sont ces conditions qu'il s'agit de trouver.

§ 7.

Les mêmes agents ont-ils les mêmes effets sur tous les organismes?

Sous la diversité des formes l'anatomiste sait trouver des types permanents. Le physiologiste doit chercher aussi dans la variété des phénomènes la constance des propriétés de tissus. Quand on considère un serpent ou un autre animal venimeux, il semble à beaucoup que le liquide sécrété, si redoutable pour les espèces qui lui servent de proie, doive être sans danger pour celui qui le produit. Et bien des expériences faites pour éclaircir ce point ont laissé du doute à cause des difficultés qu'elles présentent.

Sur cette question, je rappellerai l'opinion souvent exprimée par M. Claude Bernard et appuyée par lui sur de curieuses expériences. Notre maître n'hésite pas à admettre que les tissus ont les mêmes propriétés dans les diverses espèces : ainsi il a réussi à empoisonner des crapauds avec leur propre venin. Pour cela, il a réuni les conditions les plus favorables, celle par exemple d'une température élevée dans laquelle l'animal à sang froid devient, au point de vue physiologique, assez semblable à un animal à sang chaud et en possède l'impressionnabilité.

Il est généralement admis que le hérisson peut braver comme le sanglier la morsure des vipères. La peau très-épaisse qui le revêt est, comme le tissu lardacé du sanglier, une protection excellente contre le venin de serpent qui, placé là, y est très-lentement absorbé et ne produit point d'effets fâcheux, pas plus que tout poison qui peut s'éliminer à mesure qu'il pénètre dans l'organisme?

On a étendu aux poisons les plus actifs l'immunité supposée

réelle du hérisson par rapport au venin de la vipère. On a dit que l'acide prussique était aussi sans action sur lui.

L'expérience suivante montre qu'il n'en est rien. Un hérisson me fut apporté vivant; je préparai une petite quantité d'acide cyanhydrique pur, et ayant coupé avec des ciseaux les piquants sur une certaine étendue, je fis à la peau une incision étroite la pénétrant dans toute son épaisseur. Deux gouttes environ de cet acide prussique furent placées au fond de la plaie, au delà de la couche lardacée et de la tunique musculaire : l'animal ne survécut que peu d'instants à cette injection.

On sait que le venin est toujours placé de façon à atteindre l'animal étranger sans pénétrer dans l'organisme de celui qui le forme : ainsi le venin du serpent est retenu dans une poche qui ne l'absorbe pas; il passe par un canal osseux et se verse au dehors, dans une plaie étroite et profonde, où il se trouve aussitôt mêlé au sang et aux humeurs, c'est-à-dire dans les meilleures conditions pour être absorbé. Pareillement le venin du crapaud est sécrété par des glandes qui le versent sur la peau au moment où un animal vient à le mordre ; le venin se trouve alors au contact d'une membrane muqueuse, et provoque, en s'absorbant, une sensation d'horrible dégoût. On peut dire du venin contenu dans les glandes que le crapaud possède, qu'il sort au dehors comme le venin de la vipère, sans avoir été absorbé par l'animal qui le produit. Ces venins peuvent être comparés à des projectiles qui atteignent les ennemis, mais ne sont jamais tournés contre l'animal qui les lance. Il n'en est pas ainsi de la décharge électrique de la torpille, être vraiment paradoxal,au point de vue physiologique. En effet, l'électricité produite par l'organe se répand immédiatement dans l'eau qui l'entoure. La courbure que prend le gymnote lorsqu'il donne une décharge contribue à la diriger; mais il n'y a rien de pareil à observer chez la torpille : elle a une forme aplatie, elle donne la décharge sans modifier sa forme. On ne peut même remarquer de mouvement dans son corps au moment où elle foudroie sa victime. La torpille reste alors immobile, et cependant elle est nécessairement atteinte par ce fluide qui

l'enveloppe, et pour continuer la comparaison des projectiles que les animaux adressent à leurs ennemis, et dont ils ne sont pas atteints eux-mêmes, l'électricité est un projectile qui atteint la torpille qui le lance avant d'atteindre l'adversaire auquel il est destiné. En effet, la peau de la torpille enlevée ne m'a pas offert de pouvoir isolant appréciable. Il est difficile d'admettre que la torpille ne sente point cette décharge, puisque l'on obtient, en excitant les nerfs de ce poisson avec des courants électriques très-faibles, tous les phénomènes que l'on observe chez les autres poissons, dans les mêmes circonstances.

Je l'ai constaté un grand nombre de fois; mais on peut penser que le poisson use de sa volonté, et se commande à lui-même l'immobilité, malgré la sensation qu'il éprouve.

Ces actes, en effet, sont tout à fait naturels. Ils sont conformes aux habitudes des animaux : dans l'ordre des Coléoptères, les birrhes, les dermestes et beaucoup d'autres; dans l'ordre des Mammifères, l'opossum et d'autres, se condamnent à une immobilité complète, quand ils se sentent menacés, et la conservent même au milieu de vives souffrances. La torpille est un poisson d'affût, elle surprend sa proie par une décharge. Avant de la frapper, elle se tient cachée, et quand elle la frappe, il lui importe encore de ne pas se découvrir: la douleur qu'elle cause à son ennemi peut provoquer quelques représailles de sa part; la torpille se condamne donc instinctivement à l'immobilité, jusqu'au moment où elle juge que l'effet de la décharge est suffisant et lui livre une proie incapable de lui échapper.

Ces efforts supposent une volonté bien déterminée, il convenait d'en supprimer l'influence; or, on sait en physiologie que la section du bulbe rachidien rend toute la partie du corps située au-dessous incapable de manifester des actes volontaires. Par cet artifice, on peut observer les phénomènes de sensibilité inconsciente dont la moelle épinière est le siége, et on les observe d'autant mieux que les mouvements volontaires de l'animal, aussi bien que les arrêts volontaires des mouvements réflexes, sont supprimés.

J'ai été conduit par ces considérations à pratiquer la section

du bulbe rachidien sur des torpilles avec les précautions qu'on trouvera décrites pour empêcher l'animal d'épuiser par des décharges répétées l'activité de l'organe. Après la section des nerfs électriques et celle du bulbe rachidien, la torpille ne peut plus donner de décharges volontaires ; mais si l'on excite un nerf allant à l'organe, on obtient une décharge, de même que l'on obtient sur une grenouille la contraction des muscles du membre postérieur, quand on excite le nerf sciatique après savoir coupé la tête de l'animal. Ces décharges sont beaucoup plus faibles que celles que la torpille produit volontairement ; elles ne partent, en effet, que d'une fraction d'un des organes, de celle qu'anime le nerf que l'on excite. Et cependant on observe que la torpille se contracte et s'agite comme un poisson ordinaire atteint par la décharge.

Les mouvements que cause la sensation douloureuse ne sont plus supprimés par l'action volontaire partie du centre nerveux cérébral. Ils sont très-manifestes chaque fois que l'on excite un nerf allant à l'organe électrique.

Il n'y a donc pas une différence de nature ; il y a dans la manifestation de la douleur une différence explicable par les efforts volontaires de l'animal, et sans doute aussi par une accoutumance héréditaire.

Nous arrivons par cet exemple particulier à fortifier cette idée générale : que les mêmes agents ont les mêmes actions sur les divers organismes. Ce sujet offre plus d'une obscurité. En effet, ce qui frappe notre esprit quand nous avons des comparaisons à faire, ce sont les dissemblances, elles nous saisissent, et nous avons en beaucoup de circonstances de la peine à démêler les caractères communs. Les différences de degrés sont souvent très-grandes, et nous ne considérons que les effets ultimes. Nous demandons, par exemple, si tel poison qui est mortel pour un animal le sera pour tous, et quand nous voyons des doses comparables laisser vivre celui-ci et tuer celui-là, nous nous croyons autorisés à admettre la différence d'action chez ces deux êtres. C'est, à mon avis, une mauvaise manière de juger. Sans doute il y a une différence dans les deux résultats, mais il faut ne

point prendre pour règle de jugement ce qui n'est pas un caractère essentiel.

La mort, par exemple, qui semble devoir servir d'excellente règle pour juger, en est une détestable.

Que l'on y réfléchisse. Il s'agit de connaître la nature d'un agent, et de savoir s'il se comporte sur un organisme d'une manière, et d'une autre sur un autre.

Mais l'organisme est un tout fort complexe ; la suspension du jeu d'un organe est plus grave chez tel animal que chez tel autre, et si l'action de la substance à étudier ne dure qu'un certain temps, elle peut être fatale à celui-ci et passer presque inaperçue pour celui-là.

La morphine empoisonne l'homme à une dose où elle n'empoisonne pas le chien pris du même poids et dans des conditions physiologiques aussi rapprochées que possible. Il ne faut pas dire pour cela que l'action de la morphine n'est pas la même chez le chien et chez l'homme.

Il y a même tendance au sommeil, aux rêves (on peut les apprécier chez le chien à certains mouvements qui dénotent un état mental analogue à celui que l'homme éprouve et connaît).

L'action que cherche le physiologiste n'est point celle qui se traduit par une profonde perturbation ou par la mort ; c'est une action sur un tissu, c'est une modification dans une propriété physiologique ; et comme les propriétés physiologiques sont les plus intimes ressorts qui mettent en jeu la machine animale, il faudra juger de la nature d'un agent physiologique par la modification que subira une propriété d'un tissu.

Quand on considère l'immunité de certains animaux par rapport à des agents physiologiques, tels que les venins, les poisons, le problème, s'il est bien analysé, se résout en mettant en évidence la similitude des effets essentiels. Ainsi, par exemple, on sait que les lapins et les chèvres peuvent manger pour ainsi dire impunément les feuilles de belladone, et cependant ces feuilles contiennent un principe actif et dangereux, l'atropine. Mais l'estomac, chez certaines espèces, comme le lapin, est constamment rempli d'herbes et de matières

à digérer; par suite, l'addition de substances toxiques donne lieu à une absorption immédiatement ralentie. L'élimination incessante qui se fait par les reins prévient l'accumulation du principe toxique dans l'économie. Ces conditions contribuent à rendre compte de l'immunité que présentent ces animaux par rapport à l'action de l'atropine. M. Claude Bernard, dans une de ces expériences où l'on voit si nettement se dessiner les effets physiologiques d'ordinaire obscurs et mêlés, place dans la patte d'un lapin une quantité de curare supérieure à celle qui est nécessaire pour le tuer; et au bout de quelques instants, quand le lapin devient impuissant à se mouvoir, il serre une ligature au-dessus du lieu où le curare est placé. Cette ligature empêche le sang veineux de rapporter aux parties centrales le poison, et l'animal ne tarde pas à reprendre ses mouvements. M. Bernard desserre alors la ligature et fait reparaître les signes de l'empoisonnement, et prolonge ces répétitions de façon à faire absorber à un lapin une quantité qui eût été capable de tuer plusieurs animaux de son espèce.

Cet exemple, bien connu, montre que la mort, quoiqu'elle arrive d'une manière logique et nécessaire dans les conditions où on l'observe, sera cependant évitée comme un accident par l'observateur qui désire prolonger l'étude des phénomènes physiologiques, et qui suspend les effets et les modère pour ne point se trouver en face d'un cadavre, c'est-à-dire d'un organisme qui n'éprouve plus aucun effet, car il n'est plus susceptible d'aucune réaction physiologique.

La mort ne doit pas servir à juger l'action physiologique d'une substance toxique ou d'un agent quelconque. Elle est la limite et le terme de toutes les actions exagérées, et parce qu'elle est commune à toutes ces actions, elle est un détestable moyen de comparer la nature des agents. Deux poisons qui tuent ne sont pas pour cela identiques. Le même poison qui tue cet animal et ne tue pas cet autre agit cependant de même, au degré près.

L'exemple du lapin qui a le curare placé dans une patte ayant une ligature alternativement serrée et relâchée, et celui

du lapin qui mange de la belladone et n'en éprouve pas d'effet fâcheux, montrent l'influence d'une absorption ralentie. Pour connaître tous les effets du curare et de l'atropine, il faut mettre l'organisme dans des conditions où il possédera des doses plus fortes de ces substances, car ce qui est dans l'estomac doit être considéré comme étant hors de l'organisme, et pareillement ce qui est dans la patte sans pouvoir se répandre dans les autres organes. Ce n'est pas la quantité seulement, c'est aussi le temps employé par l'absorption qui importe. Suivant les exemples particuliers, il y a lieu de chercher les conditions qui peuvent exagérer ou diminuer les effets, afin de saisir l'action commune sous la diversité des apparences.

En effet, nous ne pouvons concevoir qu'un agent physiologique n'ait pas une même action sur les tissus de divers animaux, tissus reconnus comme ayant des propriétés semblables, et nous devons penser que l'action des agents physiologiques peut présenter, suivant les diverses espèces, de grandes dissemblances, sans qu'il faille admettre que les mêmes tissus sont différemment atteints dans leurs propriétés. La diversité des effets doit être cherchée, tantôt dans les conditions très-variables qui précèdent le contact des tissus avec l'agent, tantôt dans l'importance variable de la fonction placée sous la dépendance du tissu, tantôt enfin dans le degré variable de la vitalité du tissu. Nous ne pouvons comprendre une action physiologique d'un agent étranger à l'organisme sans admettre une modification dans quelque propriété des tissus. Et c'est cette modification qui entraîne comme conséquence le trouble ou la cessation d'une fonction. Celle-ci, troublée, donne lieu à une nouvelle altération des propriétés de tissu. On doit voir commencer là une série de phénomènes tels que ceux qui s'offrent dans l'évolution d'une maladie : série difficile à suivre, où chaque altération est un effet et devient une cause, mais dans la question plus simple de l'action des agents extérieurs sur l'organisme, il faut procéder en cherchant sur quel tissu élémentaire, sur quel élément anatomique l'agent porte son action. Nous le savons nettement pour le curare, c'est sur le système nerveux,

dans sa partie centrifuge; pour l'oxyde de carbone, c'est sur le globule rouge du sang. Nous le savons moins nettement pour les autres agents, mais la connaissance de ces modes d'action nous guide dans l'étude des autres, et ce qu'a fait M. Cl. Bernard pour le curare et pour l'oxyde de carbone, doit faire espérer que les substances et agents actifs sur l'organisme seront aussi connus dans leurs effets primitifs et essentiels. L'expérience qui montre nettement que la torpille, qui paraît invulnérable à sa propre décharge, est cependant impressionnée dans un certain degré par l'agent qu'elle utilise d'une si terrible manière contre sa proie, est un fait que j'apporte à l'appui de la proposition générale que M. Cl. Bernard établit dans son enseignement sur des faits multiples : savoir, que les mêmes agents ont les mêmes effets sur les différents organismes; proposition qui perd son apparence paradoxale quand on pense qu'en physiologie générale on peut considérer l'action des agents sur les tissus eux-mêmes, et non sur l'organisme pris comme un tout ou une unité.

FIN

TABLE DES MATIÈRES

VESSIE NATATOIRE..... 1

CHAP. Ier. — Notions anatomiques. — Canal aérien..... 4

Canal de sûreté..... 7

CHAP. II. — Problème hydrostatique de la vessie natatoire..... 14

CHAP. III. — Le Poisson se sert-il de sa vessie natatoire pour changer sa densité suivant les besoins de la locomotion?..... 17

CHAP. IV. — Le Poisson se sert-il de sa vessie natatoire pour prendre, quand il demeure dans le plan horizontal, la densité de l'eau?..... 34

CHAP. V. — Théorie résultant des expériences précédentes..... 40

Plan des moindres efforts..... 44

Opinions et théories des auteurs (critique expérimentale)..... 51

CHAP. VI. — Fonctions diverses de la vessie natatoire. — Déplacement du centre de gravité. — Respiration. — Phonation..... 63

CHAP. VII. — Variations de l'oxygène, de l'azote et de l'acide carbonique dans l'air de la vessie natatoire, et conditions physiologiques de l'arrivée de l'oxygène..... 69

TORPILLE ÉLECTRIQUE..... 87

CHAP. Ier. — Notions et observations préliminaires..... 88

Expériences relatives à la sensibilité de la torpille par rapport à sa propre décharge..... 92

Action du curare sur la torpille..... 95

Analogie entre l'organe électrique et le muscle..... 97

CHAP. II. — L'électricité de la torpille peut être recueillie dans un condensateur..... 99

CHAP. III. — Critique expérimentale..... 108

Théorie assimilant l'organe à un condensateur qui reçoit l'électricité des centres nerveux..... 108

Théorie dans laquelle l'organe est considéré comme capable d'agir sans le nerf..... 110

Expériences relatives à la théorie qui assimile l'organe électrique à une pile..... 111

EXPÉRIENCES SUR L'INTESTIN..... 116

Action du sulfate de magnésie placé dans une anse intestinale..... 117

Exposition et réfutation de la théorie qui fait consister l'action des purgatifs dans l'exagération des mouvements péristaltiques sans formation de liquides nouveaux (critique expérimentale)..... 124

Sulfate de magnésie dans le sang..... 135
Expérience de la section des nerfs d'une anse intestinale..... 140
Expériences avec le chlorhydrate de morphine et l'extrait gommeux d'opium..... 147

EXPÉRIENCES SUR LES NERFS VASCULAIRES..... 155

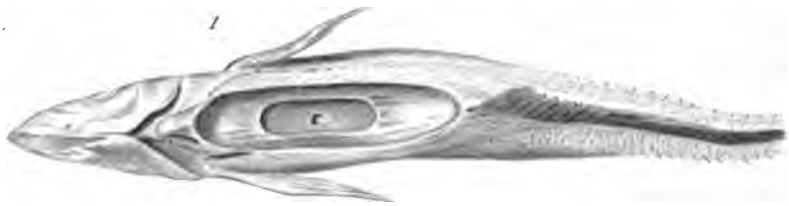
Effacement des pulsations observé après la section des nerfs vasculaires satellites des artères..... 157
Sur le rôle du nerf grand auriculaire (nerf auriculaire du plexus cervical) dans la vascularisation de l'oreille du Lapin..... 160
Procédé pour obtenir la vascularisation de l'oreille dans tout son développement..... 171

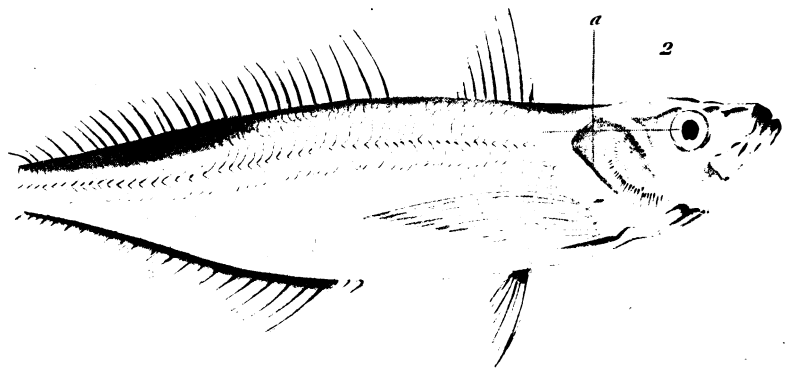
CONSIDÉRATIONS GÉNÉRALES..... 173

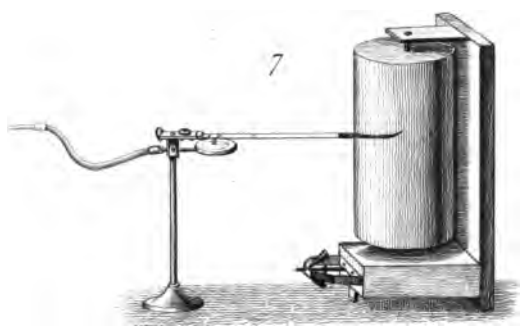
1. L'étude d'une fonction spéciale à une espèce animale place tour à tour l'observateur au point de vue de la physiologie comparée et au point de vue de la physiologie générale..... 175
2. Les faits ne se contredisent jamais. La critique doit montrer que les contradictions ne sont qu'apparentes..... 181
3. Les conditions essentielles à la vie sont les mêmes chez les divers animaux..... 188
4. Les phénomènes que l'on constate chez les êtres vivants doivent être, en tant que phénomènes physiques, rapportés à des conditions physiques qui se présentent d'ordinaire sous des aspects spéciaux tels que le monde inorganique n'en présente pas, tels aussi que nous n'en savons actuellement reproduire d'absolument semblables..... 193
5. L'expérimentation, malgré ses lenteurs, est le moyen le plus rapide, en même temps que le plus sûr, pour nous éclairer..... 200
6. L'expérimentation peut révéler des notions anatomiques absolument ignorées..... 206
7. Les nerfs ont-ils une seule et même propriété, et la différence dans les effets qu'ils produisent est-elle due tout entière à la différence des organes qu'ils animent?..... 209
8. Les mêmes agents ont-ils les mêmes effets sur tous les organismes?. 219

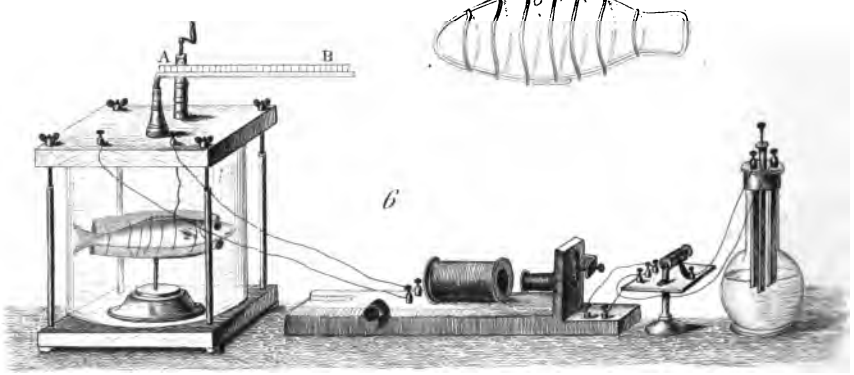
FIN DE LA TABLE DES MATIÈRES.

PARIS. — IMPRIMERIE DE E. MARTINET, RUE MIGNON, 2









Imp. A. Salmon, r. Vieille Estrapade, 15, Paris.

EXPLICATION DE LA PLANCHE 1.

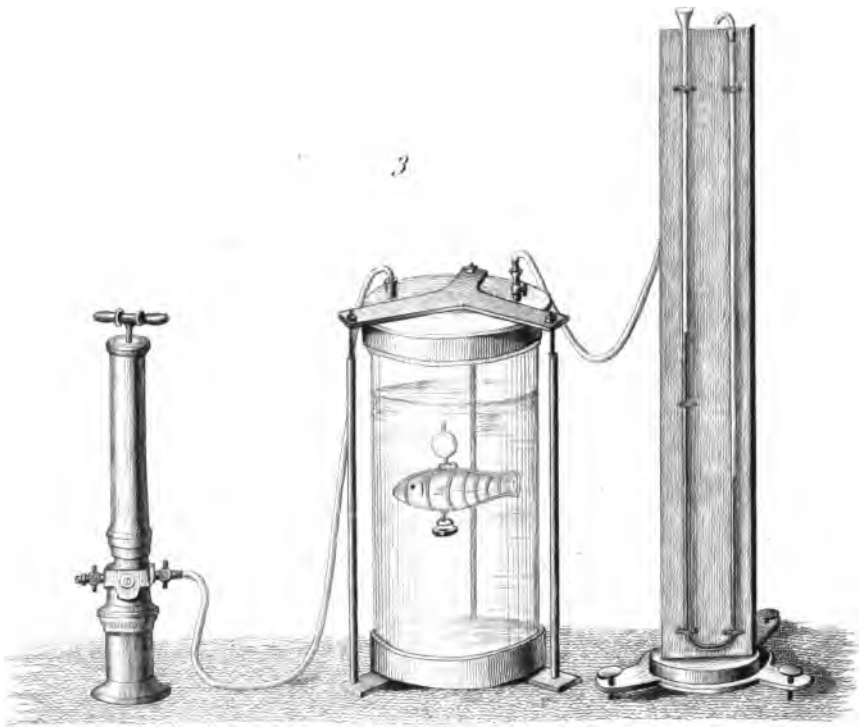
Fig. 1. Le *Caranx trachurus*, Saurel, vulgairement Sinchard, vu par la face inférieure : l'abdomen est ouvert, les viscères enlevés. La vessie natatoire, appliquée contre la colonne vertébrale et occupant toute la longueur de la cavité, présente une ouverture ovale faite artificiellement dans la paroi inférieure pour laisser voir une petite ouverture située vers la partie moyenne de la paroi supérieure, et qui est l'entrée vésicale du canal de sûreté. (Voy. p. 7 et 206.)

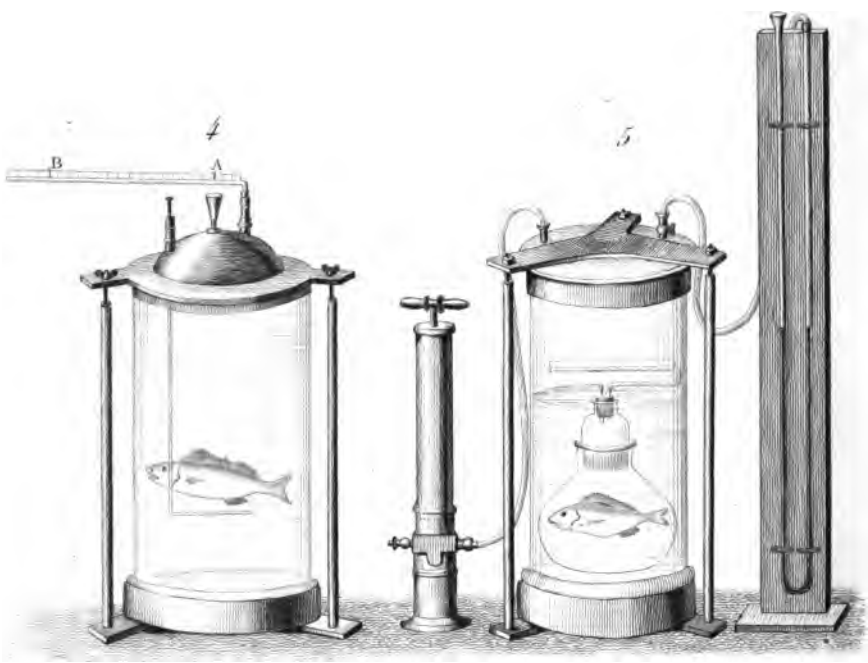
Fig. 2. Le même Poisson, vu par sa face latérale droite : l'opercule a été enlevé pour laisser voir dans la profondeur de la cavité des branchies le point où s'ouvre à l'extérieur le canal de sûreté. Ce point, qui n'est facilement visible qu'au moment où une bulle d'air soulève la muqueuse, est situé à la réunion des deux lignes ponctuées.

Fig. 6. Appareil servant à produire, par le passage d'un courant électrique à travers le Poisson, une contraction du corps avec diminution active du volume de la vessie natatoire. Il se compose d'un bocal cylindrique plein d'eau contenant le Poisson maintenu simplement au contact des bouts des deux rhéophores, et d'un tube coudé AB dans lequel l'eau progresse ou rétrograde, suivant les variations de volume du Poisson. Un cylindre avec une manivelle sert à faire arriver l'eau en un point du tube AB convenable pour le moment de l'expérience. Les rhéophores communiquent avec un appareil d'induction qui possède un interrupteur. (Voy. p. 30, exp. V.)

Fig. 7. Appareil enregistreur muni du régulateur Foucault et d'un tambour communiquant par un tube de caoutchouc avec le tube AB de la figure 6 ou de la figure 4, et destiné à obtenir des tracés fixant les positions que prend l'index, c'est-à-dire l'extrémité de la colonne d'eau dans les variations de la vessie natatoire. (Voy. p. 21 et 32.)

Fig. 8, 9, 10. Ce sont les trois parties d'un même appareil, ou voluménomètre. Le Poisson est en cage, soutenu par le ballon de verre dont la tige est graduée, lesté avec un godet à mercure. Si le Poisson doit subir une augmentation de la quantité de gaz, on affleure l'appareil vers le sommet de la tige de verre; dans le cas contraire, on l'affleure près de la boule. On fait les observations avec la même pression, et l'on emploie rigoureusement la même quantité de mercure qu'au début de l'expérience. L'ensemble constitue l'appareil représenté figure 13.





Imp. A. Salmon, r. Vieille Estrapade, 15, Paris.

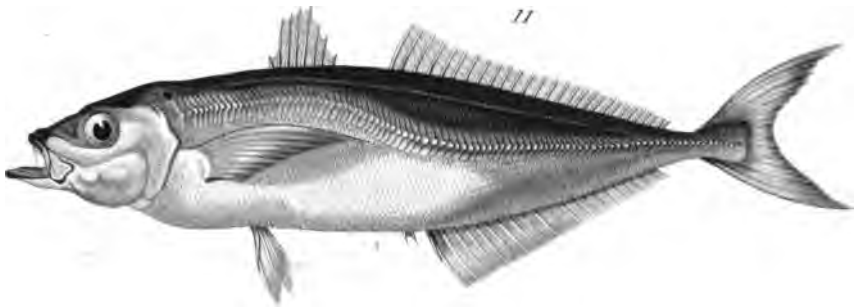
EXPLICATION DE LA PLANCHE 2.

Fig. 3. Appareil servant à montrer que le Poisson qui possède une vessie natatoire et que l'on prive de l'usage de ses nageoires se comporte comme un ludion, c'est-à-dire monte et descend suivant que la pression diminue ou augmente. Le Poisson en cage lesté avec un godet de mercure et soutenu par un ballon de verre monte, descend, demeure au sein de l'eau, suivant la pression de l'air que foule la pompe et qu'indique le manomètre. (Voy. p. 18, exp. I.)

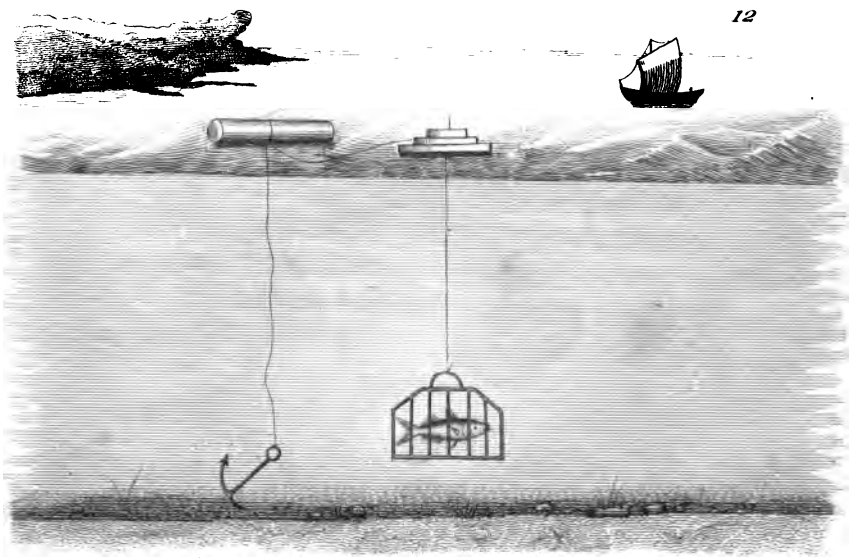
Fig. 4. Appareil formé d'un cylindre de verre complétement plein d'eau, offrant un couvercle percé d'un trou qui donne insertion à un tube coudé dans lequel l'eau progresse ou rétrograde ; deux autres ouvertures qui, pendant l'expérience, ne laissent point passer d'eau, servent, l'une pour remplir complétement d'eau l'appareil, l'autre pour placer un excitateur parfois utile. Le Poisson monte, descend, nage librement, et la limite de l'eau entre A et B, correspondant toujours à la hauteur du niveau où se trouve le Poisson, montre que jamais celui-ci n'agit sur sa vessie natatoire pour prendre un volume en rapport avec les besoins de la locomotion ni de la station. La vessie natatoire est donc passive chez le Poisson libre comme chez le Poisson en cage. (Voy. p. 20, exp. II.)

Fig. 5. Le Poisson, libre dans le bocal intérieur sphérique, subit, suivant la hauteur où il se porte, une variation de volume fidèlement marquée par la position de l'eau dans le tube horizontal qui surmonte ce bocal ; il subit de plus, et sans avoir bougé, une variation marquée aussi par la progression de l'eau dans le même tube horizontal, chaque fois que l'opérateur, agissant avec la pompe aspirante et foulante fait varier la pression de l'air que le grand bocal cylindrique contient dans sa partie supérieure. (Voy. p. 24, exp. III.)

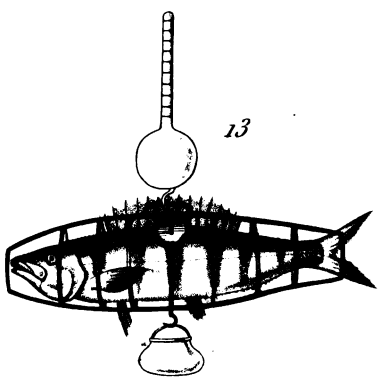
11



12



13



Imp A. Salmon r. Vieille Estrapade. 15. Paris.

EXPLICATION DE LA PLANCHE 3.

Fig. 11, représentant le Sinchard des côtes de Bretagne (*Caranx Trachurus*, Saurel, Cuvier), poisson possédant un véritable canal de sûreté qui accuse d'une manière évidente le rôle physiologique et hydrostatique de la vessie natatoire comme organe d'équilibration pour toutes les altitudes. (Voy. p. 7 et 206.)

Fig. 12, représentant la disposition réalisée au niveau du chenal en avant du port de Concarneau. Le poisson est maintenu à une pression constante, quelle que soit la hauteur de la marée. Il est relié à la première bouée par une corde toujours tendue, grâce au poids ajouté au panier, et la deuxième bouée, fixée au sol, empêche que l'appareil ne soit porté par le flot vers une région manquant de profondeur. (Voy. p. 35, expér. VI.)

Fig. 13, montrant le poisson dont on prend la densité. Dans une première opération, on a fixé le niveau d'affleurement du tube gradué; dans une seconde, on juge par la différence de niveau que l'on obtient, les poids étant identiquement les mêmes, l'augmentation ou la diminution de volume. Quand il s'agit d'espèces très-vives ou faisant des soubresauts, on substitue au godet de mercure des anneaux que l'on engage dans le tube vertical ou des poids de forme convenable. Les figures 8, 9 et 10 montrent les pièces séparées de ce même appareil. (Voy. p. 34, expér. VI.)

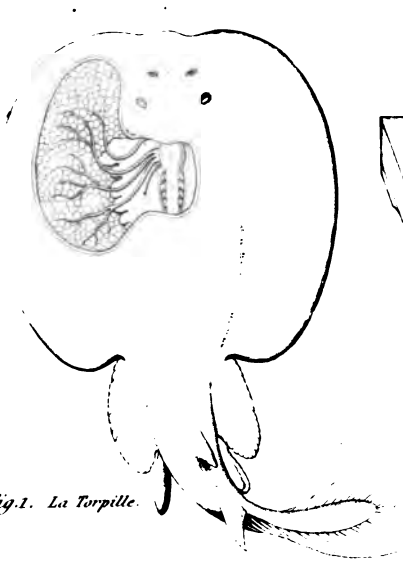


Fig. 1. La Torpille.

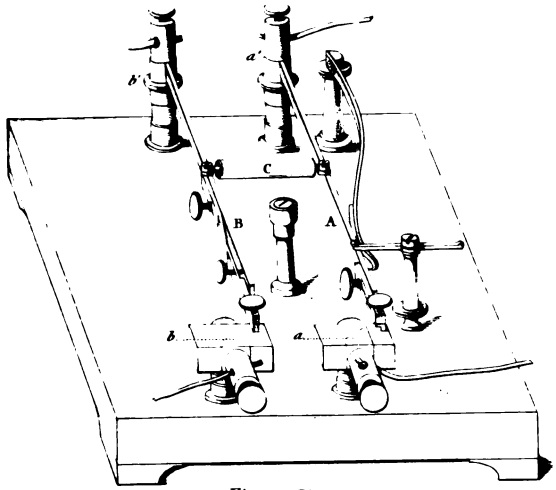


Fig. 2. L'interrupteur.

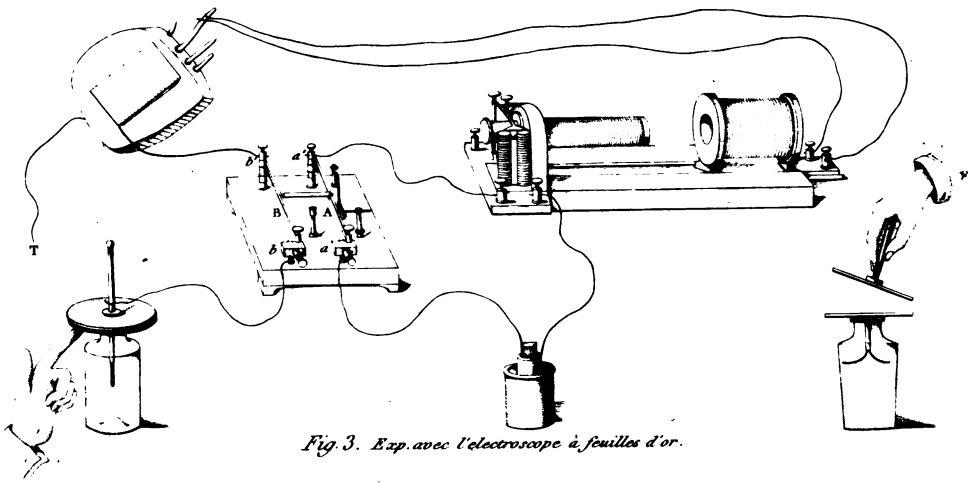


Fig. 3. Exp. avec l'électroscope à feuilles d'or.

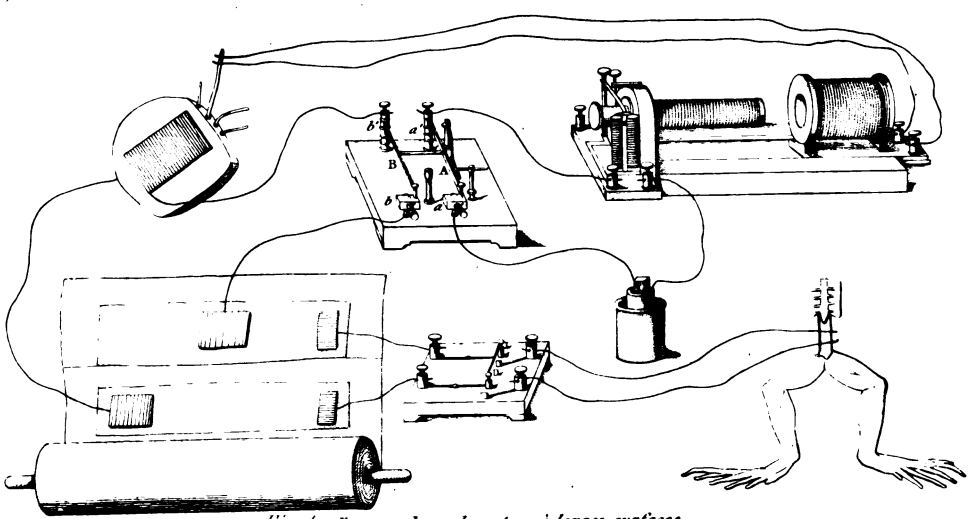


Fig. 4. Exp. avec le condensateur à larges surfaces.

N. Rémond imp. r. Vieille-Estrapade, 15. Paris.

EXPLICATION DE LA PLANCHE 4.

Fig. 1. *La Torpille.* — On a enlevé la peau qui recouvre l'organe électrique du côté gauche. On voit quatre nerfs qui se distribuent dans l'organe ; les trois derniers prennent leur origine au bulbe rachidien, désigné ordinairement dans ce poisson sous le nom de *lobe électrique.*

Fig. 2. *L'interrupteur.* — La tige C est de verre et remplie de substance isolante. Le ressort est tendu, et quand le crochet sera écarté, le ressort chassera les deux tiges A et B. La borne figurée arrêtera la tige A, et par conséquent le système des deux parallèles. Dans leur course rapide, les tiges A et B auront été au contact des plaques métalliques *a* et *b*. Les quatre bornes qui soutiennent les tiges A et B sont de verre plein recouvert d'un enduit de gomme laque. Le ressort est doublé avec une plaque d'ivoire dans la partie qui touche la tige A. (Voy. p. 99.)

Fig. 3. *Expériences avec l'électroscope à feuilles d'or.* — Un élément de Bunsen est figuré, et l'un de ses pôles est uni directement avec une des bornes de la machine d'induction ; l'autre est joint par un fil à la borne *a*, et la borne *a'* est unie à la seconde borne de la machine d'induction. — Les deux rhéophores portant le courant induit sont fixés à l'un des nerfs de l'organe électrique. Sur la face dorsale de cet organe on voit une plaque de platine qui communique par un fil à la borne *b'*, et la borne *b* est unie au plateau supérieur de l'électroscope. La face ventrale est en communication par une plaque de platine cachée et le fil T avec la terre humide. Le deuxième temps de l'expérience est aussi figuré : on voit, au moment où la main enlève le plateau, les feuilles d'or diverger.

Fig. 4. *Expériences avec le condensateur à large surface.* — Même disposition générale ; mais la face ventrale de la Torpille est unie à l'une des deux lames d'étain du condensateur. Un commutateur interposé entre la grenouille et le condensateur est figuré dans une position qui ne permet pas le passage de l'électricité. — Il y a donc un second temps non figuré qui consiste à établir les contacts du commutateur, et, par suite, le passage de l'électricité recueillie dans le condensateur sur les nerfs de la grenouille.

Fig. 1.

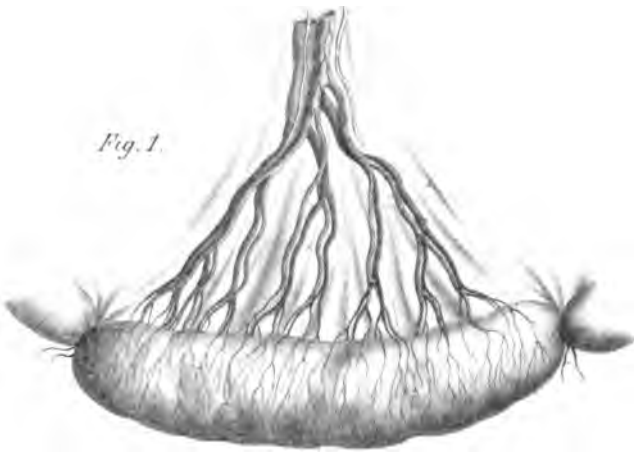
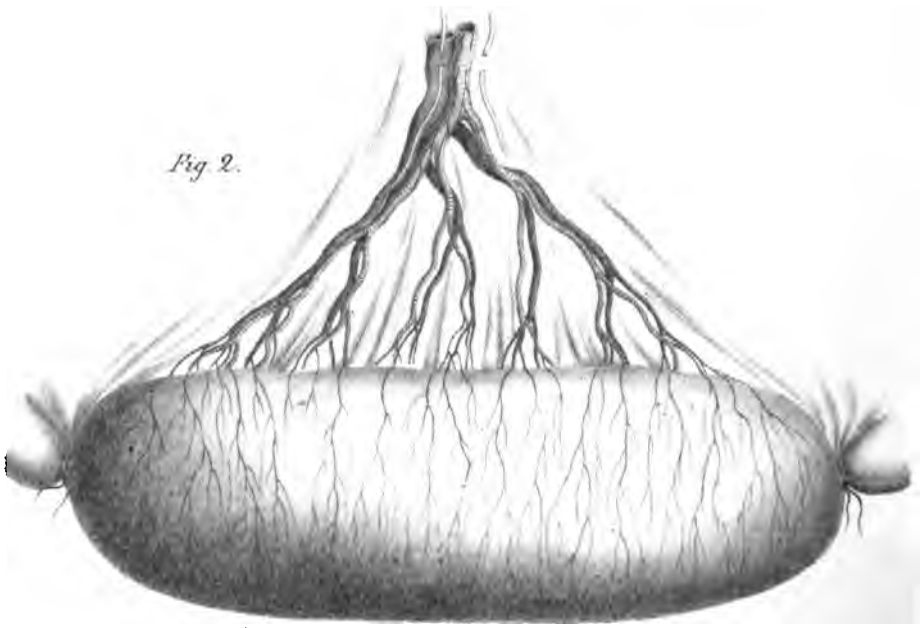


Fig 2.



Jacquemin et Pilarski lith Imp Lemercier & Cie, Paris

EXPLICATION DE LA PLANCHE 5.

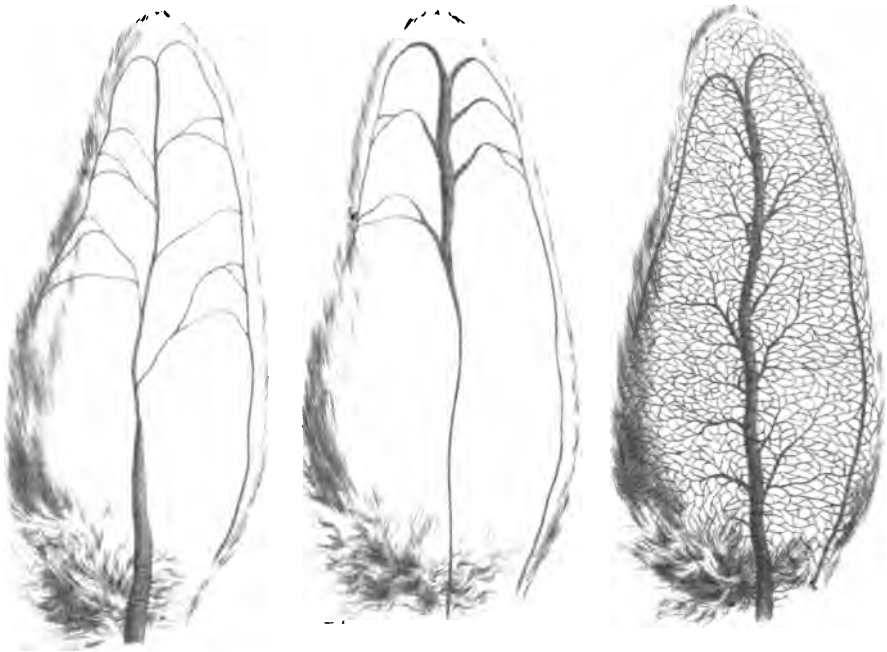
La figure 1 représente l'aspect d'une anse d'intestin à l'état normal, et dans les conditions où l'on opère, quand on veut pratiquer la section des nerfs qui s'y distribuent.

La figure 2 représente l'aspect de cette même anse considérée plusieurs heures après l'opération de la section des nerfs.

Dans ces deux figures les artères sont marquées par des stries parallèles; les nerfs sont représentés par des lignes fines interrompues au niveau où l'on pratique leur section.

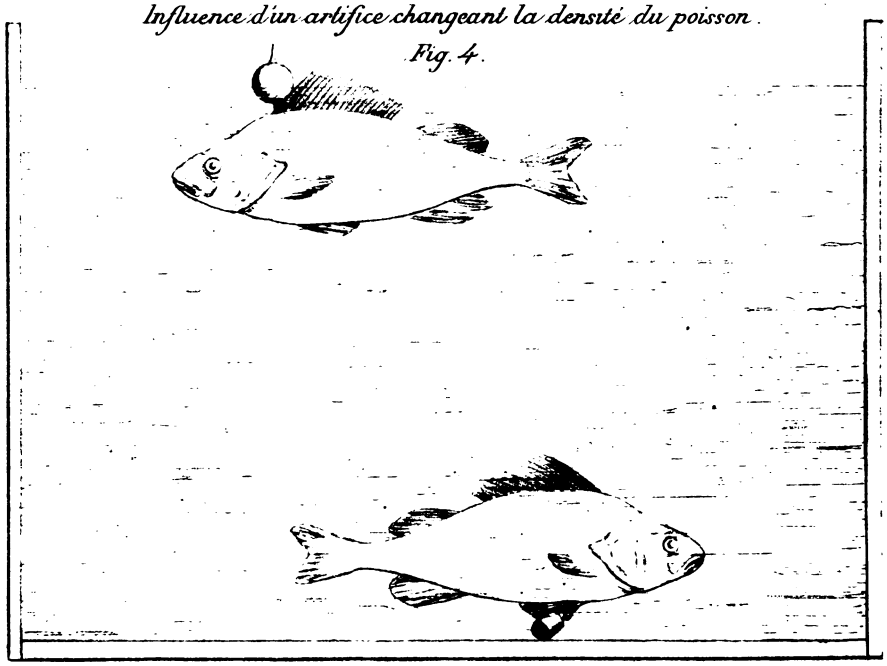
(La distension de l'anse peut être portée beaucoup plus loin que ne l'indique ce dessin.)

Fig. 1. *Fig. 2.* *Fig. 3.*



Influence d'un artifice changeant la densité du poisson.

Fig. 4.



Jacquemin et Pilarski lith Imp Lemercier & Cie Paris

EXPLICATION DE LA PLANCHE 6.

Les figures 1, 2, 3 sont faites pour accuser fortement les contrastes que présente la vascularisation de l'oreille du lapin dans les conditions décrites (texte, p. 160).

Fig. 1. L'oreille du lapin qui a subi la section du sympathique. — La figure représente le moment où l'influence nerveuse du nerf grand auriculaire (du plexus cervical) s'exerce en faisant contracter les artères qu'il anime. On peut provoquer ce phénomène de contraction en causant à l'animal un effroi momentané. On peut aussi l'observer dans les conditions normales où il se produit spontanément, mais il faut l'attendre ; on le constatera plus sûrement en galvanisant le bout périphérique du nerf auriculaire préalablemen, coupé.

Fig. 2. L'oreille du lapin qui a subi la section du nerf grand auriculaire (du plexus cervical). La figure représente le moment où l'influence du filet sympathique cervical s'exerce en faisant contracter les artères qu'il anime. On provoquera le phénomène de contraction figuré en galvanisant le bout supérieur du filet sympathique cervical préalablement coupé.

Fig. 3. L'oreille du lapin après la double section, savoir : section du filet cervical sympathique, et section du nerf grand auriculaire du plexus cervical.

Fig. 4. Elle représente dans un même bassin deux poissons semblables : l'un, rendu trop léger par un ballon de verre fixé à sa nageoire supérieure, demeure, pendant le repos, à la surface ; l'autre, alourdi par un poids de quelques grammes fixé au ventre, demeure, pendant le repos, au fond. Le premier absorbe l'air de la vessie natatoire ; le second forme une quantité nouvelle d'oxygène : tous deux travaillent ainsi à reprendre la densité de l'eau perdue par l'adjonction d'un corps étranger. (Voy. p. 195.)